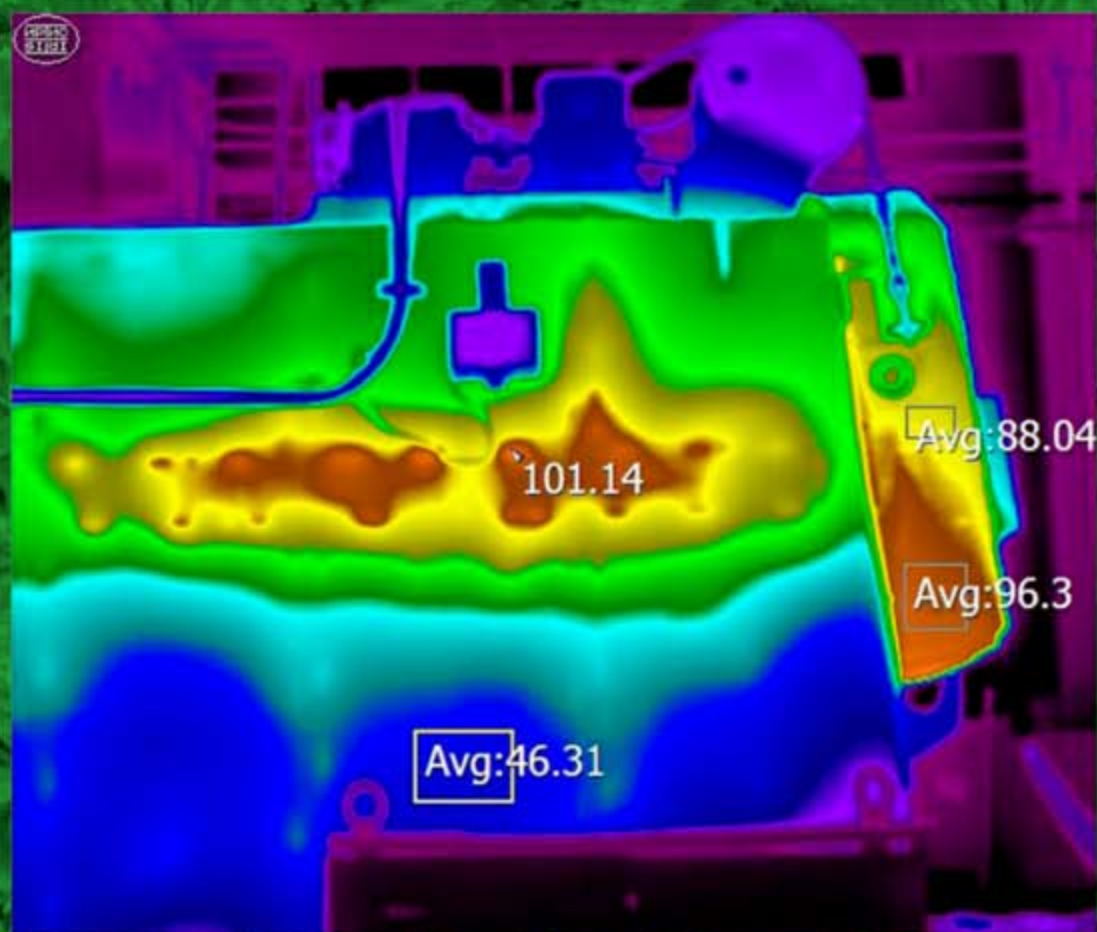


Неразрушающий Контроль и Диагностика



Электронная версия журнала
<http://science.by/nauka/13/>

№ 4 2014

Главный редактор

Венгринович
Валерий Львович

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ И ДИАГНОСТИКА

№ 4, 2014

Редакционная коллегия:

Аскирко С.Д.
Боровский В.В.
Войцехович Л.Н.
Горбаш В.Г.
Жагора Н.А.
Зуйков И.Е.
Ивлев С.А.
Кулагин В.Н.
Лухвич А.А.
Матюк В.Ф.
Мелешко А.Л.
Новиков С.А.
Пантелеенко Ф.И.
Рудницкий В.А.
Сергеев С.С.

Научно-практический журнал

Электронная версия журнала
на сайте *science.by*

Учредители

Белорусская ассоциация
неразрушающего контроля
и технической диагностики,
*республиканское общественное
объединение*

Институт прикладной физики
НАН Беларуси,
государственное научное учреждение

«Диатех»,
*республиканское научно-производственное
унитарное предприятие*

*Министерство информации Республики Беларусь 4 ноября 2011 г.
зарегистрировало журнал «Неразрушающий контроль и диагностика»
в Государственном реестре средств массовой информации за № 1488.*

*Журнал входит в «Перечень научных изданий Республики Беларусь
для опубликования результатов диссертационных исследований».*

*Журнал НКД зарегистрирован в международном каталоге научных
журналов со свободным доступом к полным текстам.
DOAJ (Directory of Open Access Journals, <http://www.doaj.org>).*

Неразрушающий контроль и диагностика
(Электронная версия журнала: <http://science.by/nauka/13/>)

Научно-практический журнал

Издатели

*Государственное научное учреждение
«Институт прикладной физики НАН Беларуси»*

*Республиканское научно-производственное унитарное предприятие
«Диатех»*

Адрес редакции:
220072 г. Минск, ул. Академическая, 16, к. 314.
Тел.: +375 17 284 0686,
факс: +375 17 284 1740,
e-mail: diatech@tut.by
URL <http://science.by/nauka/13/>

Подписной индекс (ведомственная подписка) 00844.

Подписано в печать 22.12.2014.
Формат 60x84 1/8.
Бумага офсетная. Гарнитура Cambria.
Усл. печ. л. 7,44.
Тираж 100 экз. Заказ 347.

Отпечатано в типографии ООО «Смэлток».
Лицензия ЛП №02330/223 от 03.03.2014.
Ул. Радиальная, 36, оф. 103, 220070, Минск.

Тексты публикуются в авторской версии без редакционных изменений.

ISSN 2224-1752 (печатная версия журнала).
ISSN 2224-5502 (электронная версия журнала).

© Государственное научное учреждение
«Институт прикладной физики НАН Беларуси», 2014

© Республиканское научно-производственное
унитарное предприятие «Диатех», 2014

УДК 621.373.826(075.8)

МЕТОДИКА РАСЧЁТА ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОРТРЕТОВ ОБЪЕКТОВ НАЗЕМНОЙ ТЕХНИКИ

Calculating methodics of temperature portraits of land technics objects

Сосновский Д.Н.
Sosnovskiy D.N.

В статье рассмотрена методика расчёта температурных портретов объектов наземной техники (НТ), основанная на разбиении наружной поверхности моделируемого объекта на характерные площадки с последующим составлением уравнений теплового баланса для каждой из площадок.

In article the design procedure of temperature portraits of objects of land technics, grounded on dissection of an outside surface of modelled object into the characteristic polygons with the subsequent drawing up of the equations of thermal balance for each of polygons is viewed.

Введение

На сегодняшний день тепловизионные системы широко применяются в различных сферах, в частности: поисковые операции, мониторинг районов, обеспечение безопасного движения в условиях ограниченной видимости. При этом стали актуальны такие задачи как проверка разрабатываемых алгоритмов распознавания в ИК-диапазоне объектов НТ, а также обучения персонала приемам обнаружения и распознавания НТ при помощи тепловизионных систем в возможных условиях наблюдения.

Решение вышеизложенных задач значительно упрощается посредством использования методики, позволяющей рассчитывать температурные портреты объектов НТ в различных условиях наблюдения.

Постановка задачи

Методика расчёта температурных портретов может быть основана на решении уравнения теплового баланса для участков наружных поверхностей (*характерных площадок*) объекта НТ с заданными условиями однозначности.

В рамках данной статьи под характерной площадкой понимается участок наружной поверхности объекта НТ с одинаковыми условиями теплообмена, а также теплофизическими и оптическими свойствами материалов, составляющих конструкцию. К этим параметрам относятся: λ – теплопроводность; $\varepsilon_{\text{дл}}$ – излучательная способность наружной поверхности в длинноволновой области ИК-спектра; $\varepsilon_{\text{к}}$ – коэффициент излучения наружной поверхности в коротковолновой области ИК-спектра ($\varepsilon_{\text{к}} = \alpha_{\text{к}}$ в условиях равновесия); $\alpha_{\text{к}}$ – коэффициент поглощения наружной поверхности в коротковолновой области ИК-спектра; $E_{\text{с}}$ – падающий на наружную поверхность лучистый тепловой поток, обусловленный излучением Солнца; $\alpha_{\text{нар}}$ и $\alpha_{\text{вн}}$ – коэффициенты конвективной теплоотдачи на наружной и внутренней поверхностях характерной площадки; $T_{\text{в}}$ и $T_{\text{о}}$ – температуры окружающей среды и воздуха под поверхностью характерной площадки.

В пределах характерной площадки объект принимается однородным и изотропным, его физические свойства считаются постоянными.

Методика расчёта температурных портретов объектов НТ

Разработанная методика включает в себя следующую последовательность действий:

1. Построение геометрической модели объекта НТ.
2. Выделение характерных площадок (вносящих наибольший вклад в интенсивность теплового излучения объекта) в выбранных проекциях (фронтальная, правая, кормовая, левая и сверху) на основании тепловизионных снимков, и исходя из анализа конструкции объекта.
3. Определение процессов теплообмена, оказывающих наибольшее влияние на температуру наружных поверхностей каждой из выбранных площадок.
4. Задание граничных условий для выбранных характерных площадок.
5. Определение температур наружных поверхностей характерных площадок.
6. Расчет энергетической яркости характерных площадок.
7. Моделирование тепловизионных изображений выбранных проекций объекта, соответствующих полученным энергетическим яркостям характерных площадок.

Такой подход позволяет реализовать моделирование поля энергетической яркости объектов НТ в среде MatLab без разработки спе-

циального программного обеспечения и использования суперкомпьютеров.

Поверхности исследуемого объекта НТ разбиваются на характерные площадки с учетом следующих факторов:

1. Ориентация относительно горизонта.
2. Освещенность прямым солнечным излучением: освещенная и неосвещенная.

3. Тепловое сопротивление конструкции площадки и излучательная способность наружной поверхности площадки в тепловом диапазоне длин ЭМВ.

4. Из-за особенностей теплообмена отдельно определяется температура следующих характерных площадок для объектов НТ:

- окна выпуска отработавших газов;
- выпускные решетки систем охлаждения;
- воздухозаборные решетки;
- колесные шины и диски или бандажки катков и траки гусениц.

В общем случае при необходимости большей детализации моделируемого теплового портрета объекта НТ возможно разбиение его поверхностей на большее количество типов характерных площадок. Однако это приведет к значительному увеличению затрат времени на подготовку исходных данных для проведения расчётов.

Каждая характерная площадка N_i ($i = 1...n$) имеет площадь S_i . Температура и энергетическая яркость данной площадки соответственно T_i и L_i .

Пересчет температуры в энергетическую яркость производится по уравнению Планка для требуемого диапазона длин волн. При этом задается коэффициент излучения каждой характерной площади ϵ_i .

Для определения температуры каждая характерная площадка конструкции объекта НТ представляется неограниченной пластиной (в общем случае многослойной). При этом расчет температуры наружной поверхности производится в одномерной постановке на основании уравнения теплового баланса.

Каждый i -й слой данной пластины характеризуется толщиной δ_i и теплопроводностью λ_{ti} материала, из которого он изготовлен. Общая толщина пластины от наружной до внутренней поверхности, согласно принятой схемы (рис. 1), составляет от 0 до $-\sum_{i=1}^{i=n} \delta_i$.

Схема удельных тепловых потоков, принятая для расчета температуры наружной поверхности многослойной (количество слоев n) неограниченной пластины, представлена на рисунке 1.

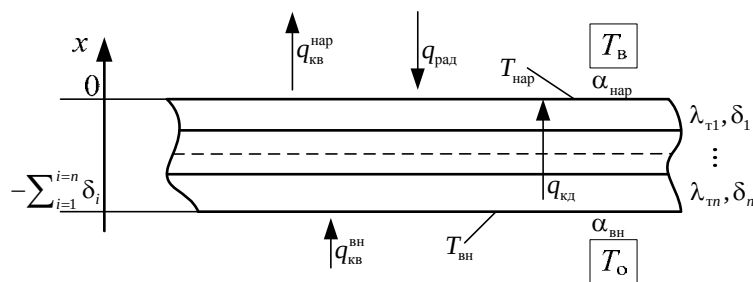


Рис. 1. Схема удельных тепловых потоков многослойной неограниченной пластины

При составлении уравнения теплового баланса учитывались следующие удельные тепловые потоки на наружной поверхности ($x = 0$):

- суммарный удельный тепловой поток, обусловленный радиационным теплообменом наружной поверхности пластины с окружающей средой $q_{\text{рад}}$;
- удельный тепловой поток, обусловленный конвективным теплообменом наружной поверхности пластины с окружающей средой $q_{\text{кв}}^{\text{нар}}$;
- удельный тепловой поток, обусловленный кондуктивным переносом теплоты от внутренней поверхности $q_{\text{кд}}$ (или от наружной поверхности к внутренней).

В расчетах удельные тепловые потоки, направленные от наружной поверхности пластины приняты отрицательными, а к поверхности – положительными. На схеме (рис. 1) показаны направления удельных тепловых потоков для случая, когда температура наружной поверхности выше температуры окружающего воздуха $T_{\text{в}}$, а также присутствует интенсивное солнечное излучение.

Таким образом, уравнение теплового баланса на наружной поверхности пластины в квазистационарных условиях имеет вид:

$$\vec{q}_{\text{рад}}(0) + \vec{q}_{\text{кд}}(0) + \vec{q}_{\text{кв}}(0) = 0. \quad (1)$$

Учет лучистого теплообмена производился с допущением, что основной вклад в формирование температурного поля наружных поверхностей объектов НТ оказывают излучения Солнца и атмосферы, а также собственное излучение пластины в мировое пространство. Для

определения радиационного теплового потока было принято следующее выражение:

$$q_{\text{рад}}(0) = E_a + E_c - \varepsilon_{\text{дл}} \sigma T_{\text{нар}}^4, \quad (2)$$

где тепловые потоки на наружную поверхность пластины, обусловленные излучением атмосферы и Солнца, определяются из уравнений [1]:

$$E_a = \varepsilon_{\text{дл}} S_a; \quad E_c = \varepsilon_{\text{к}} S_c, \quad (3)$$

где S_a и S_c – облученность наружной поверхности пластины тепловым излучением атмосферы и Солнца соответственно.

При расчете радиационного теплообмена на наружной поверхности пластины отдельно учитывались основные составляющие в областях спектра излучения 0,3–1,1 мкм и 3–14 мкм. Это позволяет дополнительно учитывать влияние оптических характеристик наружной поверхности площадки.

С учетом (3) выражение (2) примет вид:

$$q_{\text{рад}}(0) = \varepsilon_{\text{дл}} S_a + \varepsilon_{\text{к}} S_c - \varepsilon_{\text{дл}} \sigma T_{\text{нар}}^4. \quad (4)$$

При расчете теплового баланса на наружной поверхности, исходя из соображений сохранения величины удельных тепловых потоков, было принято:

$$q_{\text{кв}} \left(-\sum_{i=1}^{i=n} \delta_i \right) = q_{\text{кд}}(0), \quad (5)$$

где $q_{\text{кв}} \left(-\sum_{i=1}^{i=n} \delta_i \right)$ – удельный конвективный тепловой поток к внутренней поверхности пластины (или от нее).

Удельный конвективный тепловой поток на внутренней поверхности можно представить уравнением вида [2]:

$$q_{\text{кв}} \left(-\sum_{i=1}^{i=n} \delta_i \right) = \alpha_{\text{вн}} (T_0 - T_{\text{вн}}), \quad (6)$$

где T_0 – температура воздуха в пространстве под пластиной;

$T_{\text{вн}}$ – температура внутренней поверхности пластины;

$\alpha_{\text{вн}}$ – коэффициент конвективной теплоотдачи на внутренней поверхности пластины.

Величина удельного кондуктивного теплового потока определялась из выражения [2]:

$$q_{\text{кд}}(0) = \left(\sum_{i=1}^{i=n} \frac{\delta_i}{\lambda_{\text{ти}}} \right)^{-1} (T_{\text{вн}} - T_{\text{нар}}). \quad (7)$$

На основании уравнения (5), приравнявая правые части (6) и (7) было получено выражение для определения температуры внутренней поверхности пластины:

$$T_{\text{вн}} = \frac{\alpha_{\text{вн}} T_o + k T_{\text{нар}}}{k + \alpha_{\text{вн}}}, \quad (8)$$

где $k = \left(\sum_{i=1}^{i=n} \frac{\delta_i}{\lambda_{\text{ти}}} \right)^{-1}$ – тепловое сопротивление пластины [3].

С учетом (8) выражение (7) имеет вид:

$$q_{\text{кд}}(0) = k \alpha_{\text{вн}} \frac{T_o - T_{\text{нар}}}{k + \alpha_{\text{вн}}}. \quad (9)$$

Удельный тепловой поток, обусловленный конвективным теплообменом площадки с окружающей средой, определяется из выражения [4]:

$$q_{\text{кв}}(0) = \alpha_{\text{нар}} (T_{\text{нар}} - T_{\text{в}}). \quad (10)$$

Таким образом, с учетом (4), (9), (10) уравнение теплового баланса (1) на наружной поверхности пластины преобразуется к следующему виду:

$$\varepsilon_{\text{дл}} S_a + \varepsilon_{\text{к}} S_c - \varepsilon_{\text{дл}} \sigma T_{\text{нар}}^4 + k \alpha_{\text{вн}} \frac{T_o - T_{\text{нар}}}{k + \alpha_{\text{вн}}} - \alpha_{\text{нар}} (T_{\text{нар}} - T_{\text{в}}) = 0. \quad (11)$$

Выражение, описывающее величину удельного теплового потока с поверхности пластины, обусловленного собственным излучением (в длинноволновой области) в окружающую среду, было линеаризовано относительно определяемой температуры $T_{\text{нар}}$ посредством разложения в ряд Тейлора:

$$\varepsilon_{\text{дл}} \sigma T_{\text{нар}}^4 \approx \varepsilon_{\text{дл}} \sigma \left(T_{\text{оп}}^4 + 4T_{\text{оп}}^3 (T_{\text{нар}} - T_{\text{оп}}) \right) = \varepsilon_{\text{дл}} \sigma T_{\text{оп}}^3 (4T_{\text{нар}} - 3T_{\text{оп}}), \quad (12)$$

где $T_{\text{оп}}$ – опорная температура.

В качестве опорной температуры принята температура наружной поверхности площадки, получаемая из уравнения теплового баланса, составленного без учета удельного теплового потока излучения в окружающую среду:

$$\varepsilon_{\text{дл}} S_a + \varepsilon_{\text{к}} S_c + k \alpha_{\text{вн}} \frac{T_o - T_{\text{оп}}}{k + \alpha_{\text{вн}}} - \alpha_{\text{нар}} (T_{\text{оп}} - T_{\text{в}}) = 0,$$

откуда

$$T_{\text{оп}} = \frac{\frac{\alpha_{\text{вн}} T_o k}{k + \alpha_{\text{вн}}} + \varepsilon_{\text{дл}} S_a + \varepsilon_{\text{к}} S_c + \alpha_{\text{нар}} T_{\text{в}}}{\alpha_{\text{нар}} + \frac{\alpha_{\text{вн}} k}{k + \alpha_{\text{вн}}}}. \quad (13)$$

После преобразований из (11) с учетом (12) и (13) было получено выражение для определения температуры наружной поверхности пластины

$$T_{\text{нар}} = \frac{3\varepsilon_{\text{дл}} \sigma T_{\text{оп}}^4 + \frac{\alpha_{\text{вн}} T_o k}{k + \alpha_{\text{вн}}} + \varepsilon_{\text{дл}} S_a + \varepsilon_{\text{к}} S_c + \alpha_{\text{нар}} T_{\text{в}}}{4\varepsilon_{\text{дл}} \sigma T_{\text{оп}}^3 + \alpha_{\text{нар}} + \frac{\alpha_{\text{вн}} k}{k + \alpha_{\text{вн}}}}. \quad (14)$$

При моделировании тепловых портретов объектов НТ в качестве исходных данных должны быть заданы параметры окружающей среды. Они могут быть получены из моделей климата или из регистрируемых данных.

Заключение

Таким образом, получено аналитическое выражение (14) для расчета температуры наружной поверхности характерной площадки. Использование данного выражения в изложенной методике позволит определять значения температур для каждой из выбранных характерных площадок и производить расчёт температурных портретов объектов НТ при различных условиях наблюдения.

Литература

1. Васильев, А.В. Коротковолновое солнечное излучение в атмосфере Земли. Расчеты. Измерения. Интерпретация / А.В. Васильев, И.Н. Мельникова. – СПб.: НИИХХ СПбГУ, 2002. – 388 с.
2. Цветков, Ф.Ф. Тепломассообмен: учебник для вузов / Ф.Ф. Цветков, Б.А. Григорьев. – М.: Издательский дом МЭИ, 2011. – 562 с.
3. Кутателадзе, С.С. Справочник по теплопередаче / С.С. Кутателадзе, В.М. Боришанский. – М.: Гос. энергетич. изд-во, 1958. – 414 с.
4. Исаченко, В.П. Теплопередача / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. – 3-е изд. – М.: Энергия, 1975. – 488 с.

Статья поступила в редакцию 20.11.14

ВЛИЯНИЕ ЗАЗОРА МЕЖДУ НАКЛАДНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ И ОБРАЗЦОМ ПРИ ИМПУЛЬСНОЙ МАГНИТНОЙ СТРУКТУРОСКОПИИ

Effects of the gap between sensor and specimen in pulse magnetic structure testing

Матюк В.Ф.

Matyuk V.F.

Обобщены результаты исследований по влиянию зазора между преобразователем и испытуемым образцом на результаты импульсного магнитного контроля структурного состояния плоских изделий разной толщины. Рассмотрены изменения магнитного состояния образца и условий измерения градиента нормальной составляющей напряженности поля остаточной намагниченности при непостоянстве зазора. Показано, что при контроле тонких изделий основной вклад в погрешность измерения вносит непостоянство зазора между феррозондом и образцом, а для изделий большой толщины – непостоянство зазора в процессе намагничивания образца. При этом вклад в погрешность измерения непостоянства зазора в процессе намагничивания зависит от амплитуды и количества намагничивающих импульсов, а также от структурного состояния материала образца.

Summaries have been made on the effects of the gap between the sensor and the test specimen in the results of pulsed magnetic control structural state of flat products of different thickness. The changes of the magnetic state of the specimen and the measurement conditions of the normal component gradient of residual magnetization field intensity because of the gap impermanence are reviewed. It is shown that the gap impermanence between the ferroprobe and the specimen makes the main contribution to the measurement error for the thin specimens, while for the great thickness products the main error is the gap variability during the magnetizing of the specimen. The contribution to the measurement error of the gap impermanence in process the magnetization depends from the amplitude and the number of magnetizing pulses, as well as from the structural state of the specimen material.

Введение

Среди методов магнитной структуроскопии наибольшее практическое применение получил контроль по коэрцитивной силе и по остаточной намагниченности после локального импульсного намагничивания [1–6].

Одним из главных недостатков магнитных структуроскопов с приставными электромагнитами является высокая зависимость результатов контроля к непостоянству зазора между изделием и полюсными наконечниками, которая может составлять более 2 % на 0,1 мм изменения зазора [7]. Для ее снижения применяют ряд способов: введение начального зазора; измерение размагничивающего тока, пропорционального коэрцитивной силе изделия, не при нулевом магнитном потоке в ферродатчике, а при некотором магнитном потоке, соответствующем нулевому потоку в испытуемом изделии; применение полюсных наконечников специальной формы; использование разницы между максимальным и минимальным показанием коэрцитиметра при многократных измерениях на одном и том же изделии; предварительная оценка величины зазора и последующий учет этой величины при определении механических свойств и др. Однако по ряду технических, эксплуатационных и метрологических трудностей они не нашли широкого применения [8–9].

В отличие от приборов, где в качестве намагничивающего элемента используется постоянный магнит или приставной электромагнит, в приборах, реализующих импульсный магнитный метод контроля, намагничивание осуществляется накладным соленоидом без сердечника [2, 4–6]. При таком намагничивании появление или непостоянство зазора между соленоидом и изделием в процессе намагничивания не приводит к большим изменениям сопротивления магнитной цепи, вследствие чего сказывается на результатах намагничивания гораздо меньше. Причем это влияние зависит от амплитуды, длительности, формы и числа намагничивающих импульсов, размеров соленоида и толщины изделия. Остается и влияние зазора на величину измеряемого градиента напряженности поля остаточной намагниченности.

Влияние зазора на результаты контроля импульсным магнитным методом рассматривались в ряде работ [10–12]. Тем не менее, представляет практический интерес обобщение закономерностей влияния непостоянства зазора между преобразователем и изделием на результаты контроля импульсным магнитным методом.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

В общей формулировке импульсный магнитный метод контроля структурного состояния ферромагнитного изделия заключается в его локальном намагничивании неоднородным импульсным магнитным

полем накладного соленоида без сердечника, ось которого перпендикулярна поверхности изделия, и измерении вдоль этой оси градиента нормальной составляющей напряженности поля остаточной намагниченности (рис. 1). По величине этого градиента и по заранее установленным корреляционным связям определяют механические свойства и структуру материала (твердость, предел прочности, балл зерна и т.п.) в соответствии с ГОСТ 30415-96 [2, 4].

Использование соленоида без ферромагнитного сердечника позволило существенно упростить и повысить надежность преобразователя за счет размещения феррозонда внутри соленоида вдоль его оси [13], а импульсный режим обеспечил возможность варьировать в широких пределах процесс намагничивания [4–6].

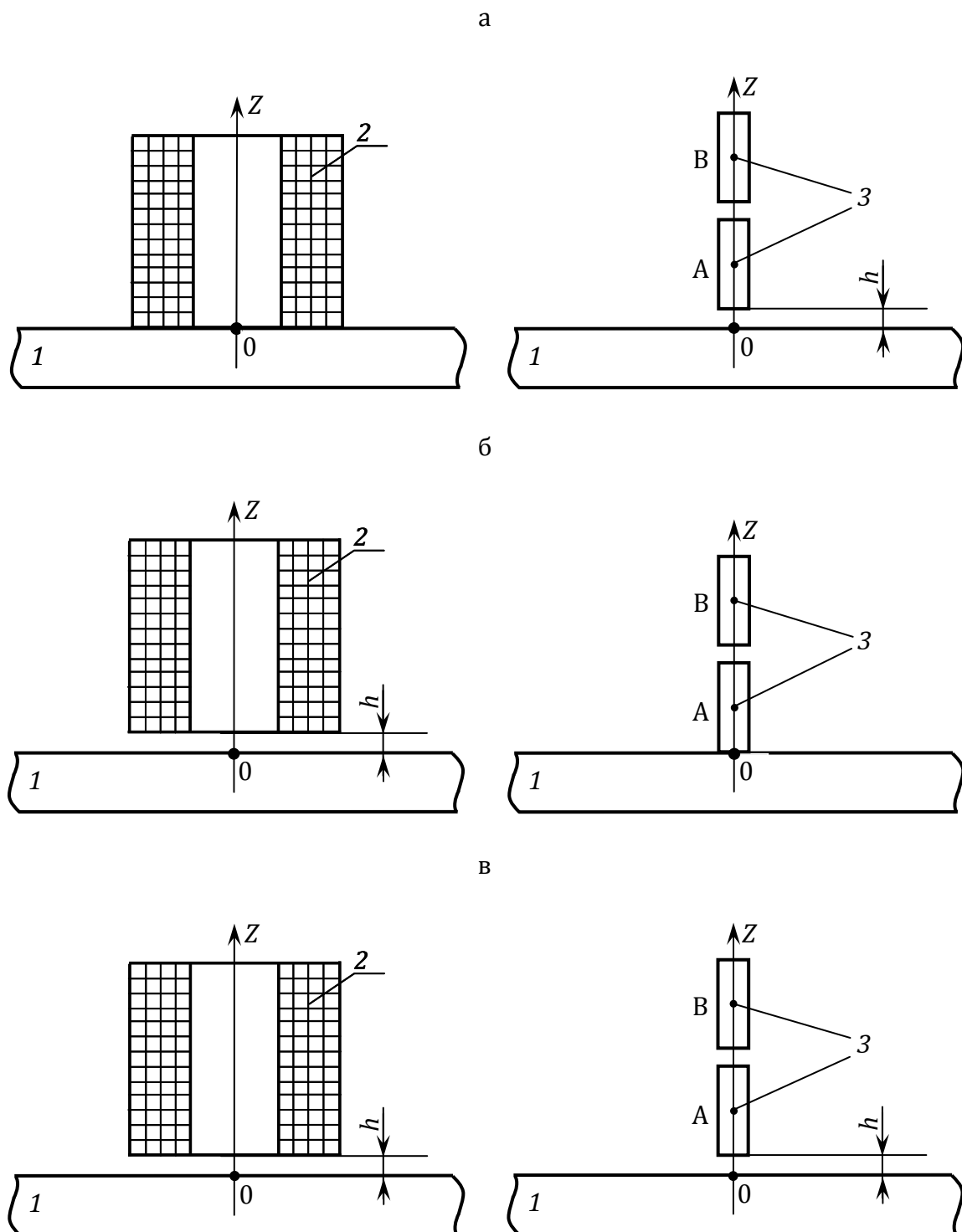
Для такого преобразователя при непостоянстве зазора между его торцом и контролируемым изделием, например, из-за окалины при термической обработке изделия, величина измеряемого феррозондом градиента напряженности поля остаточной намагниченности зависит как от изменения расстояния феррозонда до поверхности локально намагниченного ферромагнетика, так и от изменения величины поля, воздействующего непосредственно на намагничиваемый материал.

Поэтому необходима оценка влияния непостоянства зазора как на проведение каждой из операций контроля в отдельности (намагничивание – измерение), так и на проведение обеих операций вместе в широком диапазоне изменения амплитуды и количества намагничивающих импульсов и толщины испытываемых образцов в разном структурном состоянии. Схема проведения измерений представлена на рис. 1.

Исследования проводились на дисках из стали 45 диаметром 195 мм разной толщины (в состоянии поставки и закаленных в масле от температуры 830 °С).

Намагничивание осуществлялось путем разряда батареи конденсаторов емкостью 400 мкФ через соленоид с внутренним радиусом 5 мм, внешним радиусом 25 мм, длиной 30 мм и числом витков 265. Амплитуда импульсов тока могла устанавливаться в пределах от 60 до 378 А, что соответствовало амплитудам H_m импульсов формируемого поля на торце соленоида от $2 \cdot 10^5$ до $12,6 \cdot 10^5$ А/м. Импульсы имели форму апериодического разряда при длительности 10 мс на уровне 0,05. Намагничивание осуществляли одним и девятью импульсами.

Величину градиента нормальной составляющей ∇H_{rn} напряженности поля остаточной намагниченности измеряли феррозондом-градиентометром длиной 30 мм, расположенным внутри соленоида.



1 – контролируемое изделие, 2 – намагничивающий соленоид, 3 – феррозонд-градиентометр
 а – намагничивание без зазора, измерение с зазором; б – намагничивание с зазором, измерение без зазора; в – намагничивание с зазором, измерение с зазором

Рис. 1 – Схема проведения исследований

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

На рис. 2 представлены закономерности влияния зазора на результаты контроля магнитомягкого образца (сталь 45 в состоянии поставки) толщиной 1 мм при его намагничивании одним импульсом. Из них видно, что намагничивание тонкого образца без зазора и измерение градиента ∇H_{rn} при изменении зазора в пределах от 0 до 5 мм приводят к уменьшению измеряемого градиента по экспоненциальному закону с малым показателем степени (рис. 2, а). Средняя погрешность δ , вызванная непостоянством зазора только при измерении градиента ∇H_{rn} , составляет в данном случае 0,6 % на 0,1 мм изменения зазора.

Намагничивание магнитомягкого образца толщиной 1 мм с зазором и измерение градиента ∇H_{rn} без зазора (рис. 2, б) практически не вносит погрешности в результаты контроля (менее 0,04 % на 0,1 мм изменения зазора).

Намагничивание этого же образца и измерение градиента ∇H_{rn} при одном и том же зазоре (рис. 2, в) дает результат, аналогичный намагничиванию образца без зазора и измерению градиента ∇H_{rn} с зазором. Отличие состоит лишь в том, что уменьшение величины ∇H_{rn} с ростом зазора одновременно и при намагничивании образца и при измерении градиента проходит более линейно.

Такие же закономерности наблюдаются и на тонком образце, закаленном от 830 °С.

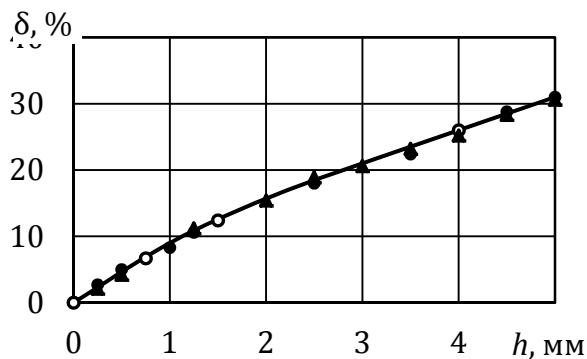
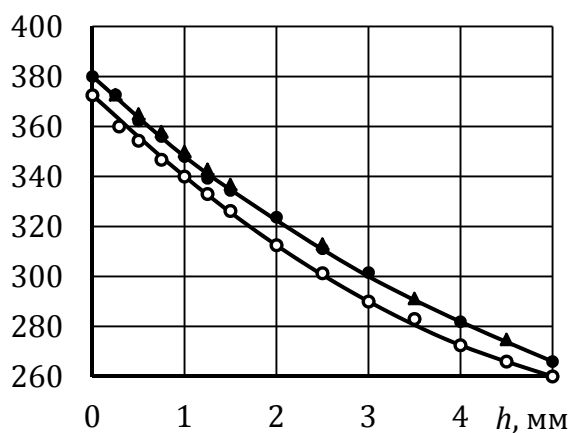
Из приведенных закономерностей также видно, что при всех режимах намагничивания и измерения величины ∇H_{rn} на тонком образце амплитуда намагничивающих импульсов H_m очень слабо влияет на величину измеряемого градиента и совсем не влияет на ход его изменения из-за непостоянства зазора. Это связано с тем, что для образца малой толщины при выбранном размере соленоида и длительности импульса даже поле с амплитудой $H_m = 2 \cdot 10^5$, А/м намагничивает материал образца в локальной области до состояния магнитного насыщения. Поэтому изменения из-за непостоянства зазора магнитного поля, воздействующего на образец, не меняют его магнитное состояние, а вся погрешность контроля в этом случае определяется изменением расстояния между поверхностью образца и феррозондом.

Аналогичная картина наблюдается и при увеличении количества намагничивающих импульсов до девяти.

Таким образом, для тонких изделий погрешность контроля определяется непостоянством зазора в процессе измерения градиента

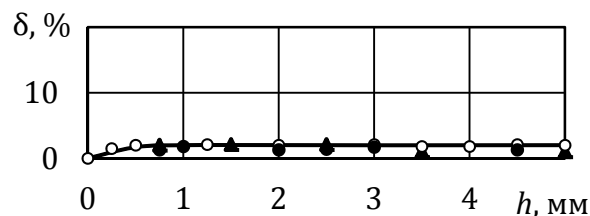
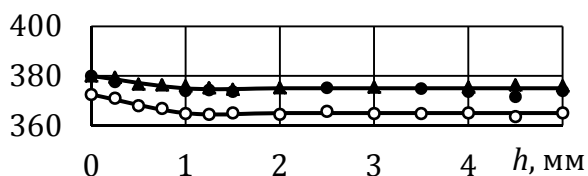
а

$\nabla H_{rn} \cdot 10^{-2}, \text{А/м}^2$



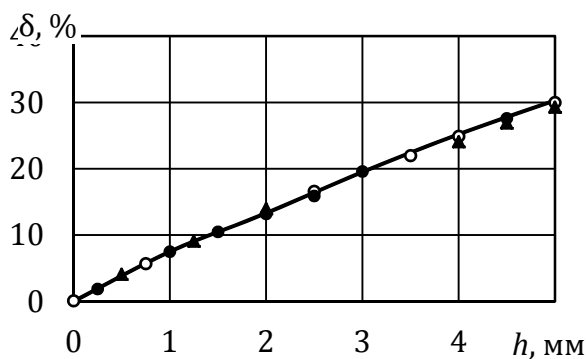
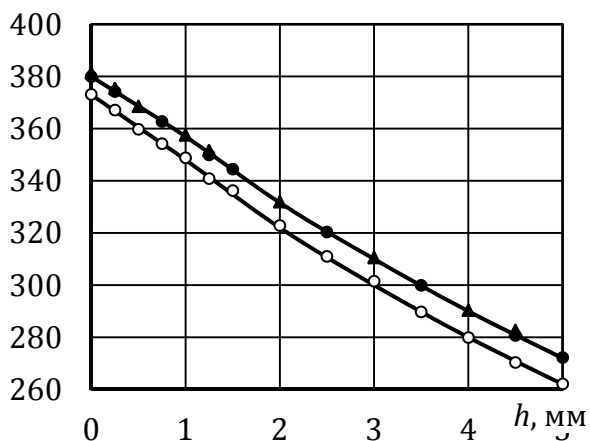
б

$\nabla H_{rn} \cdot 10^{-2}, \text{А/м}^2$



в

$\nabla H_{rn} \cdot 10^{-2}, \text{А/м}^2$



1 – контролируемое изделие, 2 – намагничивающий соленоид, 3 – феррозонд-градиентометр;

$H_m \cdot 10^{-5}, \text{А/м}$: ○ – 2, ● – 6, ▲ – 12; количество импульсов – 1;

сталь 45, состояние поставки, диаметр 195 мм, толщина – 1 мм;

а – намагничивание без зазора, измерение с зазором; б – намагничивание с зазором, измерение без зазора; в – намагничивание с зазором, измерение с зазором

Рис. 2 – Влияние зазора между преобразователем и изделием

напряженности нормальной составляющей поля остаточной намагниченности ∇H_{rn} , что совпадает с результатами, полученными в [10] при меньших амплитудах намагничивающих импульсов на тонколистовой стали 10кп.

Увеличение толщины испытуемого образца приводит к существенному изменению как абсолютной величины измеряемого градиента, так и степени влияния непостоянства зазора на результаты контроля при различных режимах измерения.

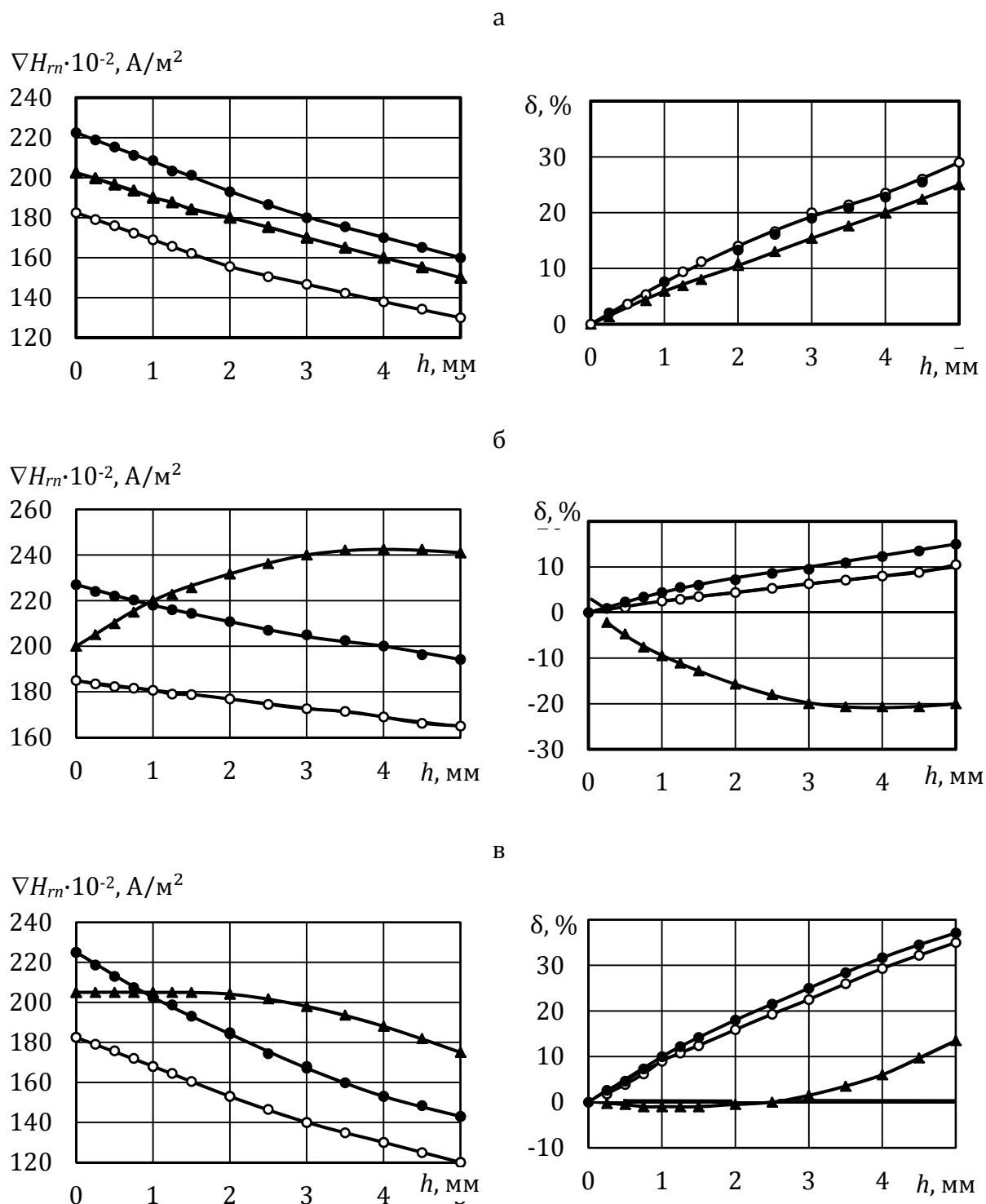
Так, при намагничивании образца толщиной 8 мм без зазора и измерении градиента ∇H_{rn} с зазором величина измеряемого градиента уменьшается с ростом h практически линейно (рис. 3, а). При этом зависимости, снятые при разных величинах намагничивающего поля, идут почти параллельно, а погрешность измерения мало отличается от аналогичной погрешности для образца толщиной 1 мм ($\sim 0,6\%$ на 0,1 мм изменения зазора), хотя при $H_m = 12 \cdot 10^5$ А/м она несколько меньше.

При намагничивании образца с зазором и измерении ∇H_{rn} на его поверхности (без зазора) амплитуда намагничивающих импульсов определяет не только величину измеряемого градиента, но и существенно изменяет закономерность его изменения с ростом h при намагничивании (рис. 3, б).

Так при полях амплитудой $2 \cdot 10^5$ А/м и $6 \cdot 10^5$ А/м величина и вид зависимости градиента ∇H_{rn} от h при намагничивании подобны соответствующим зависимостям при намагничивании без зазора и измерении ∇H_{rn} с зазором. Величина измеряемого на поверхности образца градиента в обоих случаях уменьшается с ростом зазора при намагничивании, а отличие состоит лишь в большем наклоне зависимости градиента ∇H_{rn} от h при намагничивании с зазором и, соответственно, в 2,2–3 раза большей погрешности из-за его изменения. Увеличение погрешности измерения ∇H_{rn} на образце толщиной 8 мм по сравнению с образцом толщиной 1 мм связано с уменьшением протяженности намагниченного участка с ростом толщины образца [15].

Для $H_m = 12 \cdot 10^5$ А/м с увеличением зазора при намагничивании в пределах от 0 до 5 мм величина ∇H_{rn} , измеренная на поверхности образца без зазора, не уменьшается, а растет сначала почти линейно (в диапазоне изменения h от 0 до 3 мм) и далее стабилизируется.

Увеличение градиента ∇H_{rn} на поверхности образца с ростом зазора между ним и торцом соленоида при амплитудах импульсов намагничивающего поля порядка $12 \cdot 10^5$ А/м связано с аномальной зависимостью градиента поля остаточной намагниченности от



1 – контролируемое изделие, 2 – намагничивающий соленоид, 3 – феррозонд-градиентометр;
 $H_m \cdot 10^{-5}, \text{ A/m}$: ○ – 2, ● – 6, ▲ – 12; количество импульсов – 1;
 сталь 45, состояние поставки, диаметр 195 мм, толщина – 8 мм;
 а – намагничивание без зазора, измерение с зазором; б – намагничивание с зазором, измерение без зазора; в – намагничивание с зазором, измерение с зазором

Рис. 3 – Влияние зазора между преобразователем и изделием

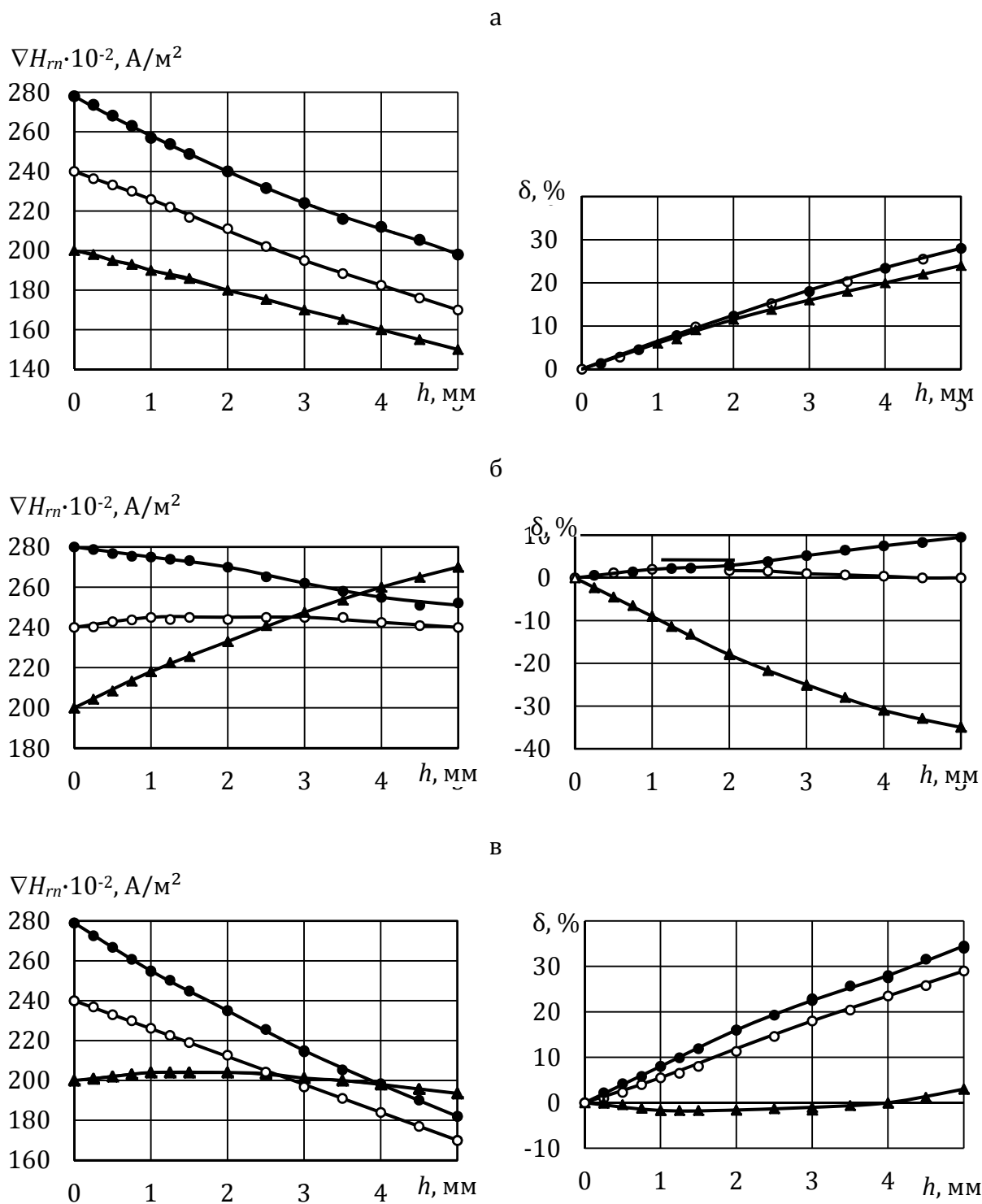
амплитуды импульсов магнитного поля, воздействующего на ферромагнетик [14]. Этот эффект вызван размагничивающим действием поля вихревых токов, возникающих в материале в процессе локального импульсного намагничивания.

Локальное намагничивание испытуемого образца импульсами амплитудой $2 \cdot 10^5$ А/м и $6 \cdot 10^5$ А/м с зазором и измерение ∇H_{rn} при том же зазоре (рис. 3, в) дают погрешность из-за изменений h даже несколько большую, чем при намагничивании теми же импульсами без зазора и измерении ∇H_{rn} с зазором, что также связано с уменьшением протяженности намагниченного участка с ростом толщины испытуемого образца [15].

В то же время при намагничивании образца импульсами поля амплитудой $H_m = 12 \cdot 10^5$ А/м и измерении ∇H_{rn} при том же зазоре погрешность, вызванная изменением зазора в пределах от 0 до 3 мм, не превышает 2%. Это объясняется тем, что, с одной стороны, с увеличением h при намагничивании полем амплитудой $12 \cdot 10^5$ А/м величина градиента нормальной составляющей напряженности поля остаточной намагниченности на поверхности образца растет (рис. 3, б), а, с другой стороны, градиент, измеряемый на расстоянии от нее, меньше, чем при нулевом зазоре (рис. 3, а). В результате компенсации этих двух противоположных тенденций и достигается значительное снижение погрешности контроля.

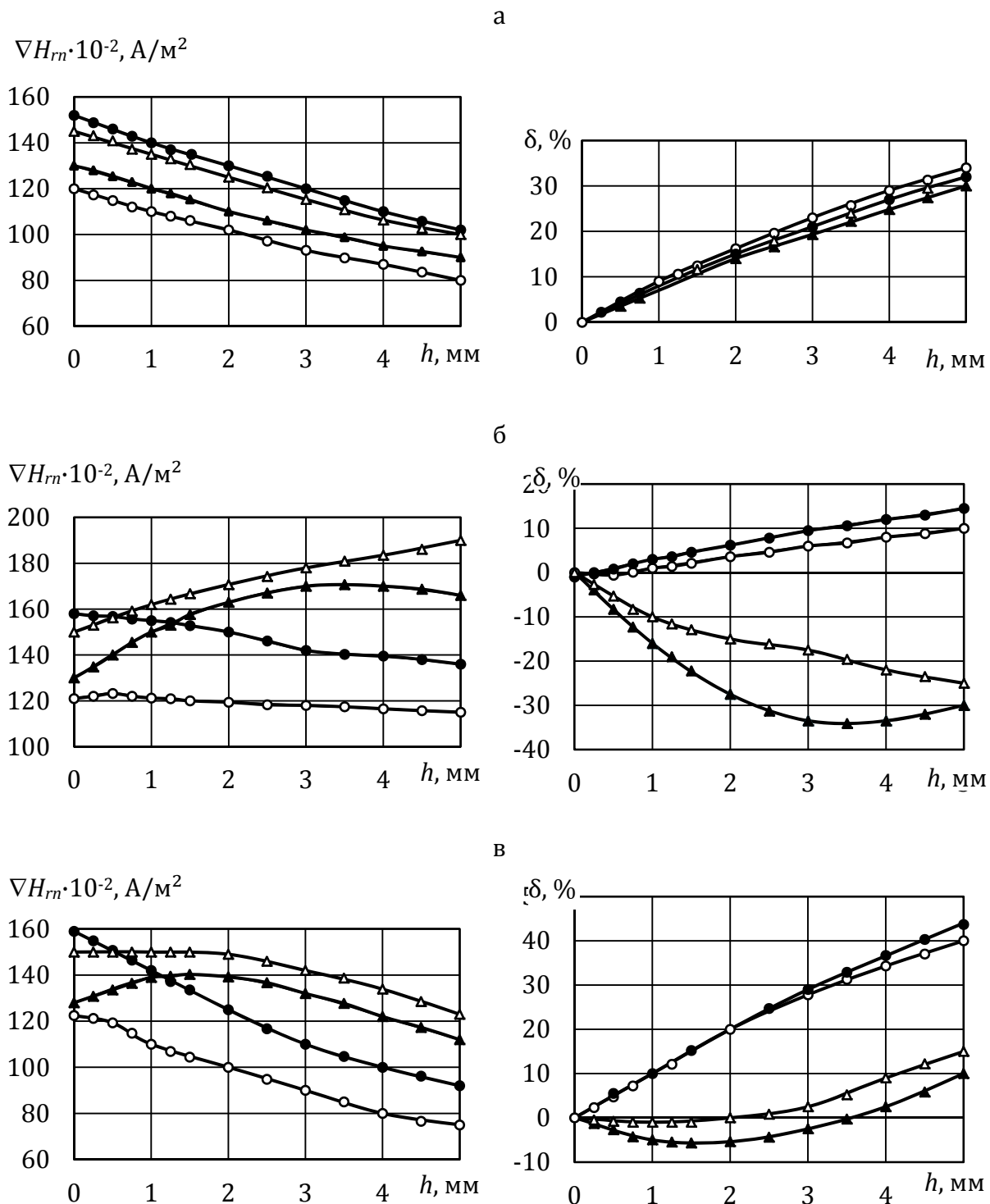
Увеличение количества намагничивающих импульсов с одного до девяти для всех рассматриваемых вариантов намагничивания и измерения градиента ∇H_{rn} на образце толщиной 8 мм приводит к тому, что абсолютные значения градиента ∇H_{rn} возрастают, а погрешности измерения из-за изменений h незначительно уменьшаются (за исключением намагничивания с зазором при $H_m = 12 \cdot 10^5$ А/м и измерении ∇H_{rn} без зазора). При этом диапазон изменений зазора, в котором погрешность при намагничивании импульсами амплитудой $12 \cdot 10^5$ А/м с зазором и измерении градиента ∇H_{rn} при том же зазоре не превышает 2%, расширяется до 4,5 мм (рис. 4), что обусловлено небольшим увеличением протяженности намагниченного участка с ростом количества намагничивающих импульсов.

Намагничивание образца толщиной 15 мм без зазора одним импульсом тока через соленоид и измерение ∇H_{rn} с зазором не вносит заметных изменений в ход зависимости ∇H_{rn} от h по сравнению с образцом толщиной 8 мм (рис. 5, а), хотя абсолютные значения измеряемого градиента уменьшаются. Намагничивание с зазором импульсами амплитудой $10 \cdot 10^5$ А/м и $12 \cdot 10^5$ А/м приводит к росту ∇H_{rn} на



1 – контролируемое изделие, 2 – намагничивающий соленоид, 3 – феррозонд-градиентометр;
 $H_m \cdot 10^{-5}, \text{ A/m}$: ○ – 2, ● – 6, ▲ – 12; количество импульсов – 9;
 сталь 45, состояние поставки, диаметр 195 мм, толщина – 8 мм;
 а – намагничивание без зазора, измерение с зазором; б – намагничивание с зазором, измерение без зазора; в – намагничивание с зазором, измерение с зазором

Рис. 4 – Влияние зазора между преобразователем и изделием



1 – контролируемое изделие, 2 – намагничивающий соленоид, 3 – феррозонд-градиентометр;
 $H_m \cdot 10^{-5}, \text{ A/m}$: ○ – 2, ● – 6, △ – 10, ▲ – 12; количество импульсов – 1;
 сталь 45, состояние поставки, диаметр 195 мм, толщина – 15 мм;
 а – намагничивание без зазора, измерение с зазором; б – намагничивание с зазором, измерение без зазора; в – намагничивание с зазором, измерение с зазором

Рис. 5 – Влияние зазора между преобразователем и изделием

поверхности образца с удалением соленоида от этой поверхности и несколько большим (примерно на 10%) погрешностям по сравнению с результатами, полученными для аналогичного режима на образце толщиной 8 мм (рис. 5, б).

При намагничивании с зазором и измерении градиента ∇H_{rn} при том же зазоре погрешность из-за изменений h в интервале от 0 до 5 мм на образце толщиной 15 мм (рис. 5, в) выше, чем на образце толщиной 8 мм при всех использованных амплитудах импульсов. Однако в диапазоне изменений h от 0 до 2,5 мм при $H_m = 10 \cdot 10^5$ А/м эта погрешность не превышает 2%.

Увеличение количества импульсов при намагничивании образца толщиной 15 мм без зазора и измерение ∇H_{rn} с зазором (рис. 6, а) уменьшает примерно в два раза погрешность, если $H_m = 12 \cdot 10^5$ А/м из-за увеличения протяженности намагниченного участка. При меньших значениях H_m данная погрешность совпадает с погрешностью измерений при одном намагничивающем импульсе.

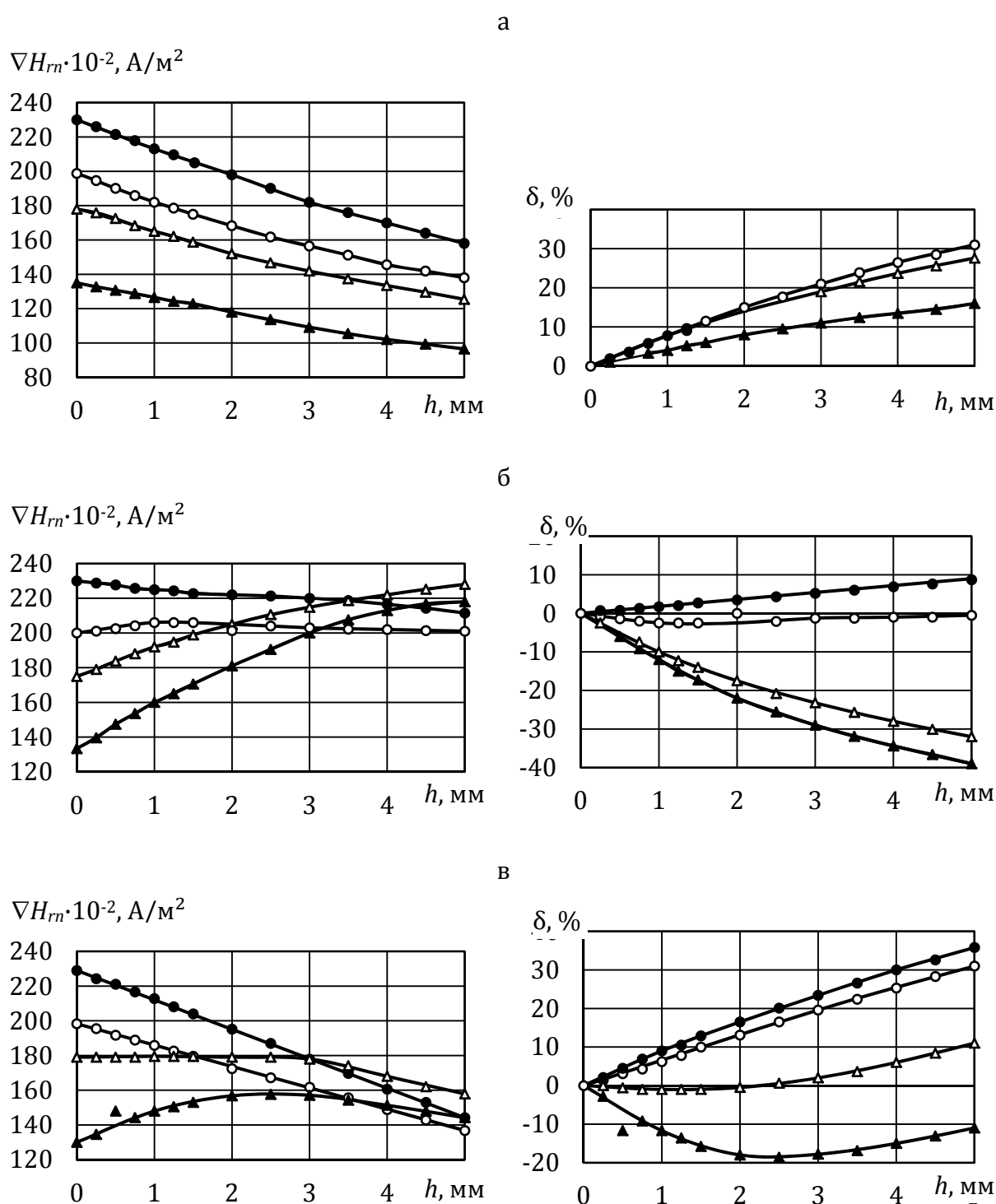
Намагничивание с зазором меньшим количеством импульсов и измерение ∇H_{rn} непосредственно на поверхности образца приводит к меньшей погрешности (рис. 6, б).

При намагничивании и измерении ∇H_{rn} при одном и том же зазоре минимальная погрешность достигается при $H_m = 10 \cdot 10^5$ А/м (рис. 6, в).

Сравнение результатов измерений на закаленном образце толщиной 15 мм (рис. 7) и образце в состоянии поставки (рис. 5) показывает, что при намагничивании одним импульсом без зазора между соленоидом и образцом и измерении ∇H_{rn} на разных расстояниях от его поверхности погрешность измерения из-за смещения феррозонда не зависит от свойств материала образца.

Для случая намагничивания закаленного образца толщиной 15 мм одним импульсом с зазором между соленоидом и образцом и измерении градиента ∇H_{rn} непосредственно на его поверхности изменение хода зависимости ∇H_{rn} от h существенно зависит от величины H_m . Так, погрешность из-за изменения h в процессе намагничивания для закаленного образца при $H_m = 2 \cdot 10^5$ А/м возрастает в два раза, а при $H_m = 6 \cdot 10^5$ А/м, $12 \cdot 10^5$ А/м и $12,6 \cdot 10^5$ А/м – уменьшается в 1,5–2 раза по сравнению с измерениями на образце аналогичной толщины в состоянии поставки.

При намагничивании закаленного образца с зазором между соленоидом и его поверхностью и измерении ∇H_{rn} с тем же h при $H_m = 2 \cdot 10^5$ А/м погрешность, вызванная этим зазором, несколько



1 – контролируемое изделие, 2 – намагничивающий соленоид, 3 – феррозонд-градиентометр;
 $H_m \cdot 10^{-5}, \text{A/m}$: $\bigcirc$ – 2, $\bullet$ – 6, Δ – 10, $\blacktriangle$ – 12; количество импульсов – 9;
 сталь 45, состояние поставки, диаметр 195 мм, толщина – 15 мм;
 а – намагничивание без зазора, измерение с зазором; б – намагничивание с зазором, измерение без зазора; в – намагничивание с зазором, измерение с зазором

Рис. 6 – Влияние зазора между преобразователем и изделием

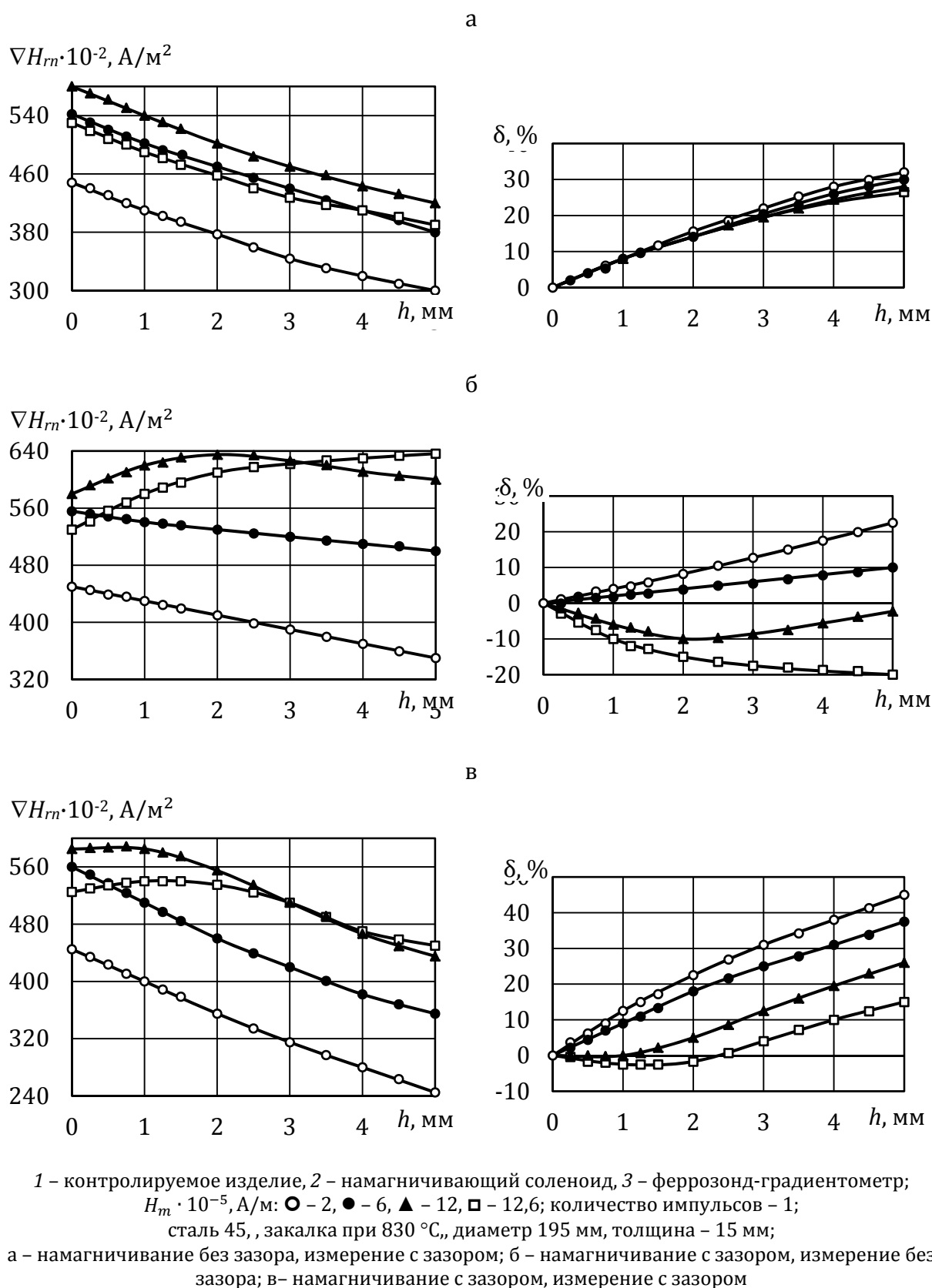


Рис. 7 – Влияние зазора между преобразователем и изделием

увеличивается по сравнению с аналогичными измерениями на образце в состоянии поставки, а при $H_m = 6 \cdot 10^5$ А/м – уменьшается. При этом область изменений зазора, в которой изменение измеряемого градиента не превышает 2%, сужается и достигается при больших амплитудах импульса поля на торце соленоида ($12,6 \cdot 10^5$ А/м для закаленного образца против $10 \cdot 10^5$ А/м для образца в состоянии поставки).

Увеличение числа намагничивающих импульсов до девяти для образца, закаленного от 830 °С (в отличие от образца в состоянии поставки), не приводит к заметному уменьшению погрешности при намагничивании без зазора импульсами амплитудой $12 \cdot 10^5$ А/м и измерении ∇H_{rn} с зазором. В то же время, погрешность при намагничивании образца с зазором и измерении градиента ∇H_{rn} непосредственно на поверхности примерно на 20% ниже, а при намагничивании и измерении при одном и том же зазоре – при $H_m = 12 \cdot 10^5$ А/м.

Таким образом, при импульсном намагничивании тонких образцов погрешность измерений определяется непостоянством зазора при измерении градиента нормальной составляющей напряженности поля остаточной намагниченности независимо от величины зазора при намагничивании, амплитуды и числа намагничивающих импульсов.

С увеличением толщины образцов существенное влияние на погрешность контроля из-за изменений зазора оказывает величина амплитуды и количество намагничивающих импульсов, а также структурное состояние контролируемого изделия. Выбор амплитуды и количества намагничивающих импульсов позволяет значительно снизить погрешность измерения из-за непостоянства зазора между изделием и преобразователем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. При импульсном намагничивании тонких образцов погрешность измерений не превышает 2 % на 0,1мм изменения зазора в интервале от 0 до 5 мм и определяется непостоянством зазора при измерении градиента нормальной составляющей напряженности поля остаточной намагниченности независимо от величины зазора при намагничивании, амплитуды и количества намагничивающих импульсов и структурного состояния металла.

2. С ростом толщины образцов усиливается влияние на погрешность контроля изменения зазора между преобразователем и изделием в процессе намагничивания. Это влияние усиливается с увеличением амплитуды и количества намагничивающих импульсов.

3. При больших значениях амплитуды намагничивающих импульсов погрешность из-за изменений зазора в процессе намагничивания толстых изделий имеет противоположный знак по сравнению с погрешностью из-за изменений зазора при измерении градиента нормальной составляющей напряженности поля остаточной намагниченности, так что суммарная погрешность существенно снижается.

Литература

1. Михеев М.Н., Горкунов Э.С. Магнитные методы структурного анализа и неразрушающего контроля. – М.: Наука, 1993. – 252 с.
2. Мельгуй М.А. Магнитный контроль механических свойств сталей. – Минск: Наука и техника, 1980. – 184 с.
3. Бида Г.В., Горкунов Э.С., Шевнин В.М. Магнитный контроль механических свойств проката. – Екатеринбург: УрО РАН, 2002. – 253 с.
4. Матюк В.Ф. Приборы магнитной структуроскопии на основе локального однополярного импульсного намагничивания. – Неразрушающий контроль и диагностика, 2012, № 2, с. 29–64.
5. Матюк В.Ф. Приборы магнитной структуроскопии на основе локального импульсного двухполярного намагничивания. – Неразрушающий контроль и диагностика, 2012, № 4, с. 20–45.
6. Матюк В.Ф. Приборы магнитной структуроскопии на основе локального циклического импульсного перемагничивания. – Неразрушающий контроль и диагностика, 2013, № 1, с. 3–27.
7. Захаров В.А., Михеев М.Н., Табачник В.П., Францевич В.М., Фридман Л.А. Влияние непостоянства зазора между изделием и наконечниками электромагнита на величину размагничивающего тока феррозондового коэрцитиметра с приставным электромагнитом. – Дефектоскопия, 1970, № 4, с. 91–100.
8. Бида Г.В., Михеев М.Н., Камардин В.М. Об уменьшении влияния зазора между полюсами приставного электромагнита и изделиями при неразрушающем контроле их качества. – Дефектоскопия, 1984, № 2, с. 26–31.
9. Табачник В.П. Влияние зазоров на показания коэрцитиметра с П-образным приставным электромагнитом (Обзор). – Дефектоскопия, 1990, № 2, с. 42–52.
10. Мельгуй М.А., Пиунов В.Д. Погрешность, вносимая изменением зазора при импульсно-локальном магнитном контроле. – Дефектоскопия, 1984, № 2, с. 41–45.
11. Melgui M.A., Kratirov V.B., Matyuk V.F., Piunov V.D. Pulse magnetic method and devices for testing of mechanical properties of articles from ferromagnetic steels. – In book: Achievements in Physics of Electromagnetic Nondestructive Testing. Proceedings of the Institute of Applied Physics of Academy of Sciences of Belarus. – Minsk–Tokyo, 1994, p. 201–221.
12. Матюк В.Ф. Влияние зазора между преобразователем и контролируемым изделием плоской формы при импульсном магнитном методе контроля. – Дефектоскопия, 1996, № 2, с. 29–37.

13. Акулов Н.С., Мельгуй М.А. Устройство для определения твердости ферромагнитных изделий. Авт. свид. СССР № 331303. – Бюл. изобр., 1972, № 9, с. 129.
14. Матюк В.Ф. Особенности влияния амплитуды и числа импульсов магнитного поля на величину градиента нормальной составляющей напряженности поля остаточной намагниченности при локальном намагничивании толстых изделий – Дефектоскопия, 1996, № 3, с. 18–24.
15. Матюк В.Ф., Стрелюхин А.В. Особенности распределения нормальной составляющей поля остаточной намагниченности плоских изделий при их локальном намагничивании импульсами с разной длительностью переднего и заднего фронтов // Ред. журн. «Весці АНБ». Сер. фіз.-тэхн. навук. – Минск, 1997. – 26 с. – Деп. в ВИНТИ 09.06.97, № 1881–В97.

Статья поступила в редакцию 14.12.14

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ УСТАНОВКИ ПАЙКИ ВОЛНОЙ ПРИПОЯ

Nondestructive testing of temperature parameters of wave soldering machine

Никищенко А.Н., Обжерин Ю.Е.
Nikishenko A.N., Obzherin Yu.E.

Проведена адаптация средств автоматизированного контроля температурного профиля процесса пайки в печи оплавления припоя для контроля температурных параметров установки пайки волной припоя. Разработана методика определения температурных параметров установки. Методика реализована в виде программного модуля.

Adaptation of automated control of the temperature profile of process in the reflow oven for monitoring of temperature parameters of the wave soldering machine is done. The method of temperature parameters determination of the machine is designed. The method in the form of software is released.

Введение

Улучшения качества процесса пайки, а, следовательно, и конечной продукции, можно достичь путем контроля и управления термопрофилем паяемой печатной платы (ПП). Термопрофиль — это температурно-временная либо температурно-координатная характеристика процесса пайки. Принцип термопрофилирования основан на количественном измерении составляющих температурно-временной характеристики и определении их соответствия требуемым допускам.

Отслеживание термопрофиля дает возможность раннего обнаружения скрытых отказов в модулях установок пайки, что дает следующие преимущества:

- увеличение производительности;
- уменьшение производственного брака;
- увеличение эффективности расхода материалов;
- снижение риска и предотвращения порчи продукции;
- соответствие требованиям руководящих документов.

На производстве используются различные установки для пайки SMD и DIP компонентов [1]. В первом случае используются печи оплавления припоя с большим количеством зон нагрева и охлаждения, во втором — установки пайки волной припоя. Термопрофилиро-

вание процесса пайки в печах оплавления припоя является стандартной задачей, для которой предлагается ряд комплексных решений [2]. При этом измерение профиля проводится температурным зондом, а настройка зонда и анализ температурного профиля — с помощью программного обеспечения (ПО), поставляемого совместно с зондом.

При проведении пайки ПП с DIP компонентами на установке пайки волной припоя важно контролировать следующие параметры:

1. максимальную скорость нагрева в каждой из зон блока предварительного нагрева;
2. температуру предварительного нагрева платы;
3. максимальную температуру термочувствительного элемента;
4. величину термоудара на компоненты и плату;
5. фактическую температуру припоя при пайке.

Прилагаемое к зондам ПО специализированно под печи оплавления припоя и не позволяет провести анализ термопрофиля и оценить вышеперечисленные температурные параметры процесса пайки в установках пайки волной припоя. Это, в свою очередь, не позволяет использовать один тип температурных зондов для проведения автоматизированного контроля пайки ПП на обеих установках: на печи оплавления и на установке пайки волной припоя.

Цель данной работы — адаптация средств автоматизированного контроля температурного профиля процесса пайки в печи оплавления припоя для контроля температурных параметров установки пайки волной припоя.

Объект и средства контроля

Объектом контроля выступает установка «WS 330-SF» Essemtec для проведения групповой пайки печатных плат с выводными компонентами [3].

В установке выделяются следующие функциональные блоки: транспортная система (конвейер); пенный флюсователь; модуль преднагрева (предварительного нагрева); модуль пайки; вытяжная вентиляция; подплатник (рамка, палета).

Длина конвейера 2360 мм, ширина — 470 мм, диапазон скоростей 0,3 – 2,5 м/мин. Угол наклона конвейера 5-9 градусов.

Объем флюсователя 2 литра. Рабочая ширина 250 мм. Флюсователь оснащен средствами удаления избытка флюса с ПП.

Модуль предварительного нагрева является конвекционной печью с двумя температурными зонами. Температура задается для каждой зоны отдельно. Максимальная температура в каждой из зон —

300 °С. Длина каждой зоны 700 мм. Суммарная циркуляция воздуха в зоне предварительного нагрева 1000 м³/час.

Модуль пайки позволяет проводить пайку как свинцовыми, так и бессвинцовыми припоями. Емкость ванны для припоя 220 кг. Возможность организации lambda- и chip-волны. Диапазон температуры нагрева припоя 230 – 300 °С.

Установка имеет встроенную микропроцессорную систему управления и контроля. Оператором устанавливается скорость конвейера, температура в каждой из зон преднагрева и температура припоя в ванне.

Технологические этапы процесса волновой пайки представлены на рисунке 1. ПП устанавливается в рамку и помещается на конвейер, который последовательно перемещает ее через блоки линии пайки.

В блоке флюсования поверхность платы и выводы монтажных элементов смачивается флюсом, подающимся в виде пены.

В блоке подогрева происходит испарение жидкости, используемой в качестве растворителя флюса, необходимого для предотвращения разбрызгивания расплавленного припоя при попадании на него капелек жидкого флюса с поверхности ПП, а также подогрев ПП до 75-135 °С с целью уменьшения термоудара при последующем погружении ПП в волну расплавленного припоя при температуре 260-280 °С. Температура нагрева ПП при пайке должна быть максимальной, но не выше допустимой температуры нагрева установленных на ПП элементов.

В качестве температурного зонда в рамках работы используется термопрофилометр марки v-M.O.L.E. и программный продукт M.O.L.E.-MAP для работы с зондом [4, 5]. Термопрофилометр позволяет одновременно записывать температурные профили с трех датчиков (термопары К-типа) и имеет следующие характеристики:

- Диапазон измеряемых температур: - 200 °С ... + 1271 °С;
- Термостойкость (с защитой): до + 482 °С;
- Вес: 68 граммов;
- Точность измерений: ±1 °С;
- Разрешение: 0,056 °С;
- Интервал выборки: от 0,1 сек до 24 часов;
- Вид аккумулятора: литиево-полимерный;
- Время работы от аккумулятора: 9 часов;
- Время заряда для одного цикла: 15 мин;
- Интерфейс: USB.

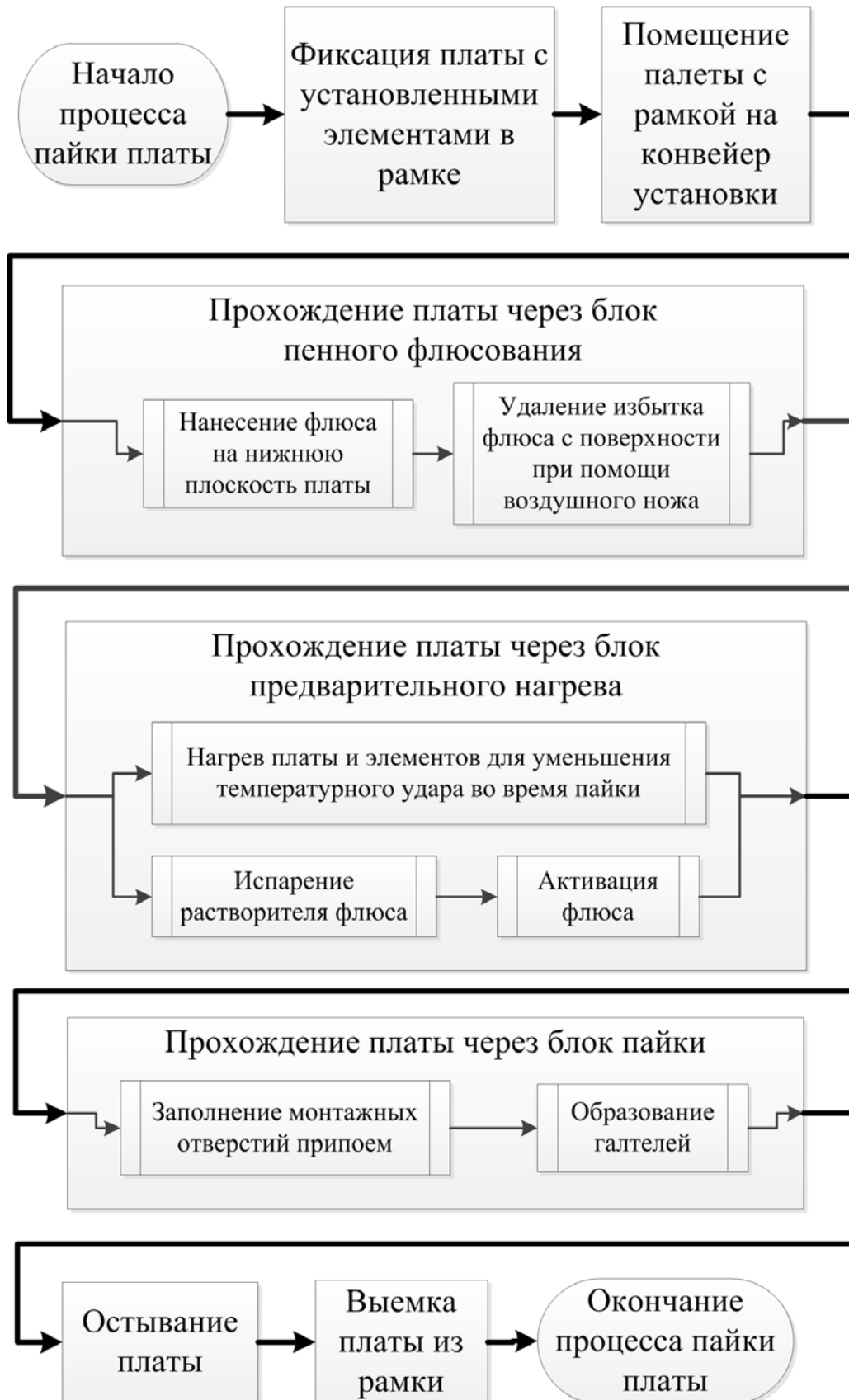


Рис. 1. Технологический процесс пайки печатных плат с выводными компонентами на установке пайки волной припоя

После прошивки зонда проводится установка термопар на ПП. Три термопары располагаются на следующих позициях: на металлизации с верхней стороны платы, на металлизации с нижней стороны платы, на поверхности термочувствительного элемента. Подобное расположение датчиков на плате позволяет определить все температурные параметры, приведенные выше. Отметим, что датчики, расположенные на плате, не препятствуют проведению процесса пайки.

Далее ПП закрепляется в рамке и проходит технологический процесс пайки в установке «WS 330-SF». Включение записи термопрофиля синхронизируется с моментом подачи платы на конвейер. Окончание записи определяется общим временем измерения.

После завершения записи термопрофилометр подключается к ПК для выгрузки данных. M.O.L.E.-MAP позволяет сохранить результаты измерения по каждому из каналов в xls файл.

Полученная экспериментальная температурно-временная характеристика процесса пайки на установке пайки волной припоя для различных точек на плате представлена на рисунке 2.

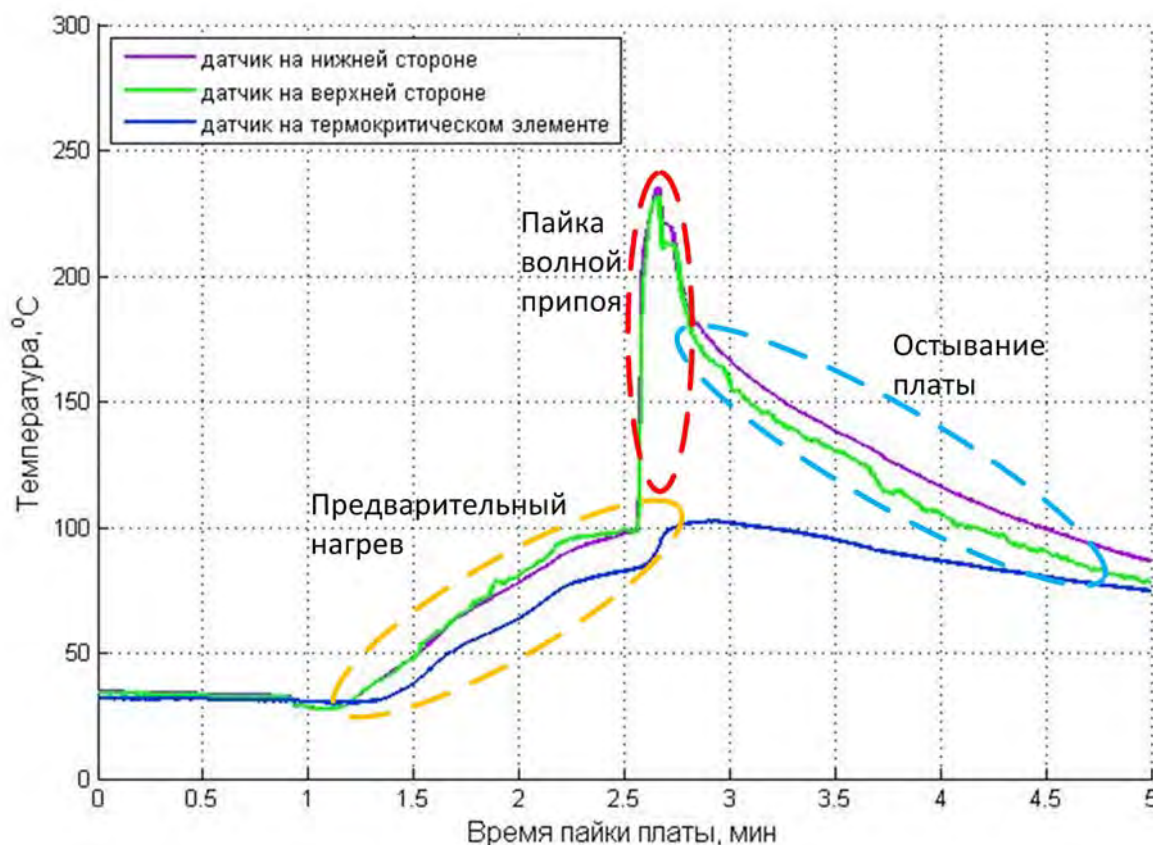


Рис. 2. Экспериментальная осциллограмма температурного профиля установки «WS 330-SF». Параметры установки: скорость конвейера 0,65 м/мин, температура в зонах предварительного нагрева 140/160 °C, температура припоя 270 °C.

Температурно-координатная характеристика процесса пайки

Для преобразования полученной экспериментальной временной в координатную зависимость температуры необходимо определить скорость перемещения ПП по конвейеру.

Максимальное значение температуры, измеренное датчиком на нижней стороне платы, соответствует моменту, когда нижний датчик окунается в волну припоя. После того, как датчик проходит волну припоя, на осциллограмме наблюдается снижение температуры в виде скачка. Скачок связан с переходом датчика из припоя в воздушную среду, температура которой ниже температуры припоя. С учетом известных значений ширины волны припоя и расстояния от начала конвейера до начала волны по моменту скачка температуры вниз после максимального уровня можно определить скорость.

Для проверки применимости подобного метода расчета скорости перемещения ПП по конвейеру выполнен замер времени между началом и окончанием движения платы с датчиками по конвейеру. С учетом длины конвейера определена средняя скорость перемещения ПП. Сравнение результатов прямого расчета и расчета по термопрофилю (таблица) проводилось при двух режимах работы установки: режим узкой и режим широкой волны припоя.

Таблица. Сравнение экспериментально измеренной и вычисленной средней скорости перемещения плат по конвейеру

№	тип волны	расстояние до окончания волны припоя, мм	время прохождения конвейера, с	длина конвейера, мм	скорость, м/мин		относительная погрешность, %
					эксперимент	расчет	
1	широкая	1700	221	2360	0,641	0,647	1,0
2			208		0,681	0,653	4,1
3			208		0,681	0,657	3,5
4			201		0,705	0,672	4,6
5			197		0,719	0,695	3,3
6	узкая	1610	285		0,497	0,497	0,0
7			297		0,477	0,482	1,0
8			290		0,488	0,489	0,2
9			292		0,485	0,491	1,2
10			289		0,490	0,483	1,4

Получено, что погрешность расчета скорости по температурной осциллограмме не превышает 4,6 % для двух режимов работы установки (узкая и широкая волна), что является приемлемым уровнем.

После определения скорости конвейера можно преобразовать временную зависимость температуры к более наглядной зависимости температуры от местоположения платы на конвейере (рисунок 3). При этом координатная зависимость температуры платы рассчитывается с учетом положения датчиков на плате.

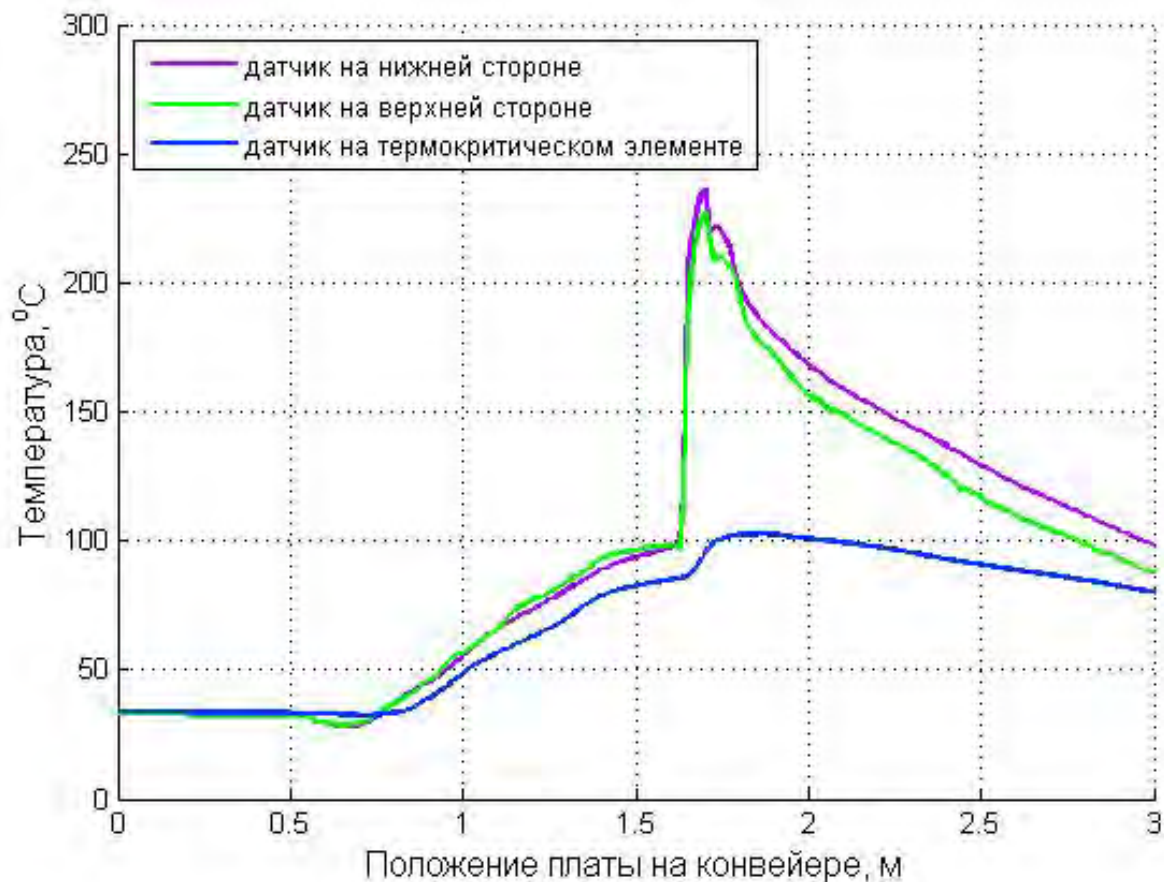


Рис. 3. Температурный профиль процесса пайки на установке «WS 330-SF». Параметры установки: скорость конвейера 0,65 м/мин, температура в зонах предварительного нагрева 140/160 °C, температура припоя 270 °C.

Расчет температурных параметров по термопрофилю

На основании полученной зависимости температуры от времени и от положения платы рассчитываются температурные параметры установки пайки волной припоя:

1. Скорость нагрева платы в каждой из зон конвекционной печи ($\Delta T_{\max 1}$, $\Delta T_{\max 2}$) определяется по максимальному значению градиента температуры в зоне предварительного нагрева.

2. Температура предварительного нагрева платы (T_{prehit}) определяется как средняя величина температуры датчиков, расположенных на поверхности платы, в момент выхода из второй зоны предварительного нагрева.
3. Максимальная температура термочувствительного элемента (T_{kr}) соответствует максимальной величине, измеренной датчиком, расположенным на данном элементе датчиком температуры.
4. Величина термоудара на плату (T_{hit}) определяется как разность между температурой после зоны предварительного нагрева и максимальной температурой платы.
5. Фактическая температура припоя в зоне пайки (T_{sol}) определяется по максимальной температуре, зарегистрированной датчиком на нижней стороне платы.

Для представленного примера были рассчитаны следующие значения перечисленных параметров:

$$\begin{aligned}
 v &= 0.66 \text{ м/мин;} \\
 \Delta T_{max1} &= 1.20 \text{ }^{\circ}\text{C/с;} \\
 \Delta T_{max2} &= 1.03 \text{ }^{\circ}\text{C/с;} \\
 T_{prehit} &= 98 \text{ }^{\circ}\text{C;} \\
 T_{kr} &= 105 \text{ }^{\circ}\text{C;} \\
 T_{hit} &= 140 \text{ }^{\circ}\text{C;} \\
 T_{sol} &= 236 \text{ }^{\circ}\text{C.}
 \end{aligned}$$

Программный модуль расчета температурных параметров

Представленный алгоритм обработки совокупности экспериментальных данных и расчета температурных параметров реализован с использованием средств MatLab в виде программного модуля. Входными параметрами модуля являются: координаты расположения датчиков на плате, линейные параметры конвейера, интервал выборки, путь расположения и имя xls файла, сохраненного M.O.L.E.-MAP. Выходными параметрами являются термопрофиль процесса пайки установкой и рассчитанные параметры установки пайки волной припоя (Рисунок 4).

При переходе к координатному температурному профилю на нем можно отметить зоны установки пайки волной припоя. На рисунке красными штриховыми линиями отмечены границы следующих зон установки (слева направо): начало зоны флюсователя, начало первой зоны предварительного нагрева, начало второй зоны преднагрева, конец второй зоны преднагрева, начало узкой волны припоя, начало широкой волны припоя.

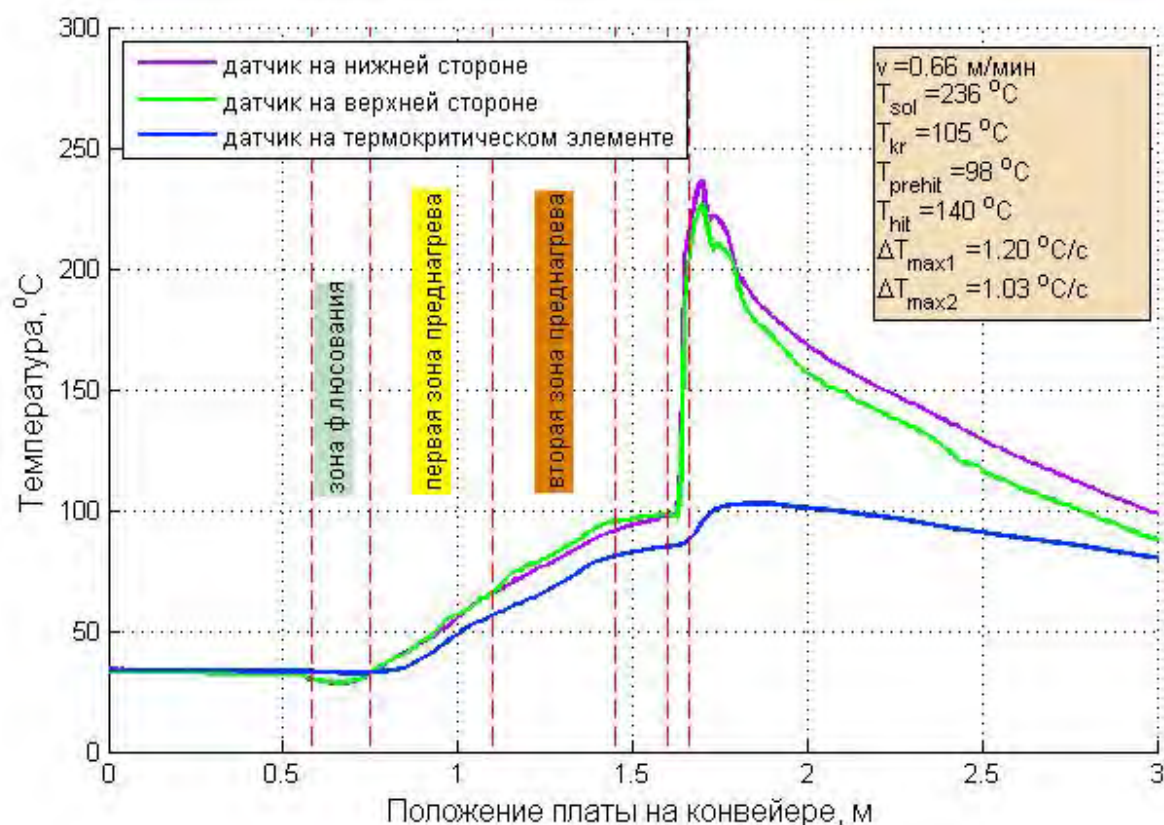


Рис. 4. Температурный профиль процесса пайки на установке «WS 330-SF». Параметры установки: скорость конвейера 0,65 м/мин, температура в зонах предварительного нагрева 140/160 °C, температура припоя 270 °C.

Выводы

Решение поставленной задачи адаптации термопрофилометра под процесс пайки волной припоя позволило организовать контроль температурных параметров установок пайки плат с SMD (печь оплавления припоя) и с DIP (установка пайки волной припоя) компонентами с использованием одних и тех же средств контроля. Это, в свою очередь, привело к унификации операций контроля установок пайки и позволило отказаться от закупки дополнительного оборудования.

Разработана методика расчета температурных параметров процесса пайки волной припоя, по которым можно судить о состоянии установки. Методика легла в основу разработанного программного модуля, позволяющего автоматизировать процесс контроля температурных параметров установки пайки волной припоя. В дальнейшем планируется встроить разработанный программный модуль в программный пакет автоматизированной системы принятия решений

при управлении процессом технического обслуживания по состоянию установки пайки волной припоя.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 14-41-01541 р_юг_а

Литература

1. Медведев А.М. Сборка и монтаж электронных устройств — М.: Техносфера, 2007. — 256 с.
2. Рогачев А. Средства построения термопрофиля пайки печатных плат компании ESD/ А. Рогачев // Технологии в электронной промышленности, 2008. — Вып. 6. — С. 42 — 45.
3. WS 330-SF. Wave soldering system. Installation and User Manual — Essemtec, version 2.2., 2007. 53 p.
4. M.O.L.E.® MAP for V-M.O.L.E.®. Users Guide — Electronic Controls Design, Inc., Rev 3.0.3, 2008, 415 p.
5. Daryl L. Santos, Arun Ramasubramanian, and Laurence A. Harvilchuck, On the use of 3 thermocouples to verify a printed circuit board profile during the reflow operation, Pan Pacific Symposium Conference, 2009.

Статья поступила в редакцию 09.12.14

**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,

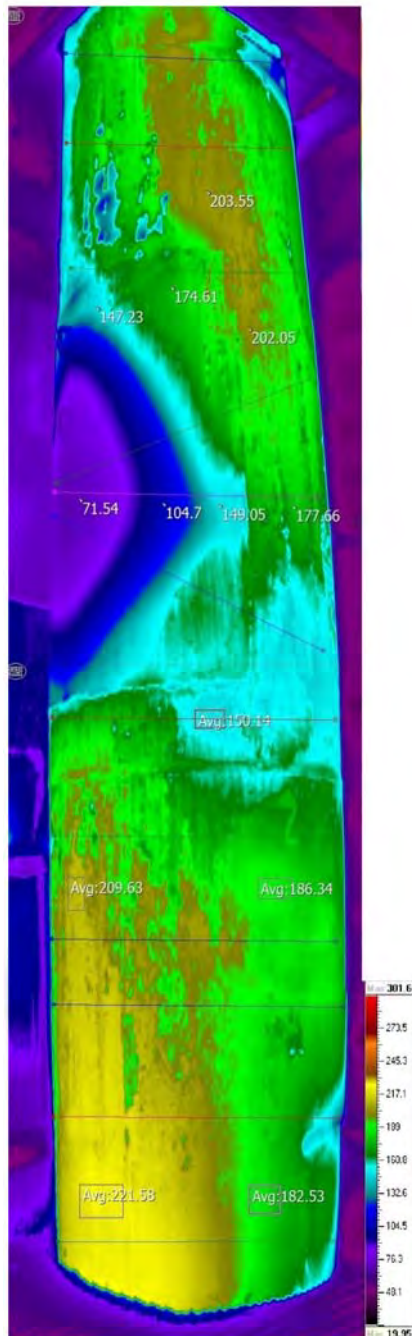


Рисунок 1 – Термограммы участков топочной трубы конвективной сушилки фрезерного торфа.

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.

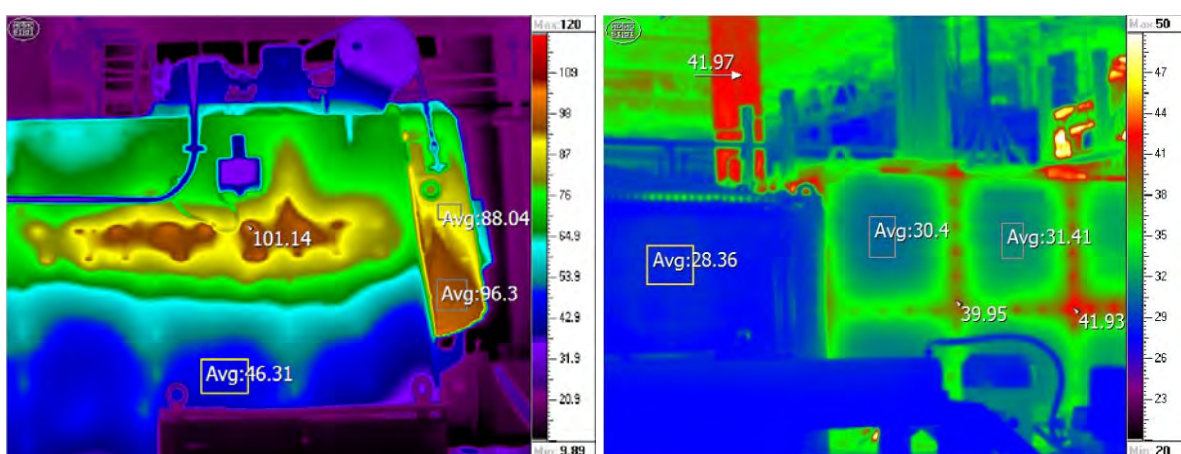


Рисунок 2 – Термограммы внешней поверхности нагревательных печей, показывающие внешнее тепловое состояние ограждающих конструкций печей.

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].

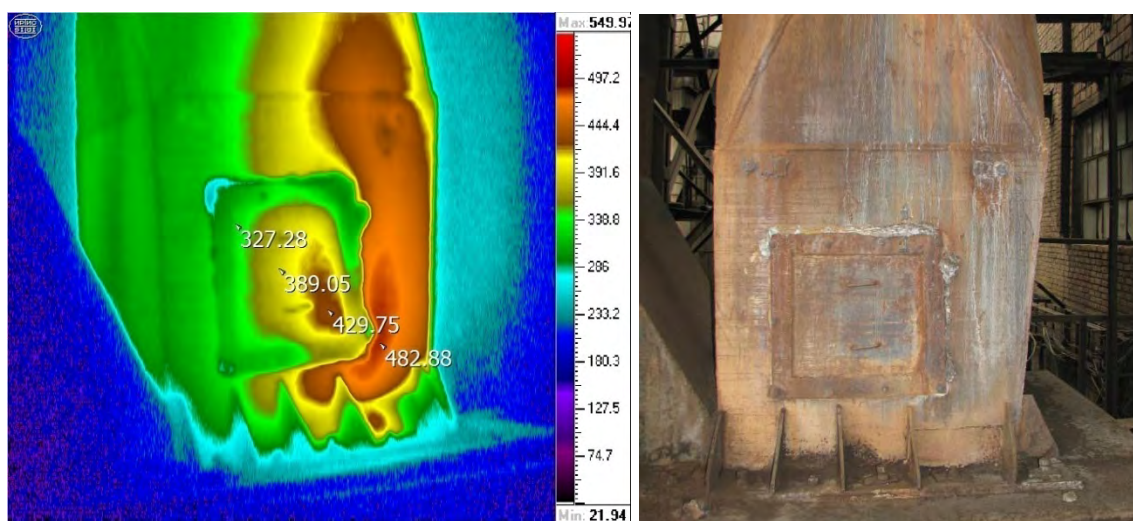


Рисунок 3 – Термограмма участка топочной трубы конвективной сушилки фрезерного торфа с указанием температур в выделенных точках.

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.

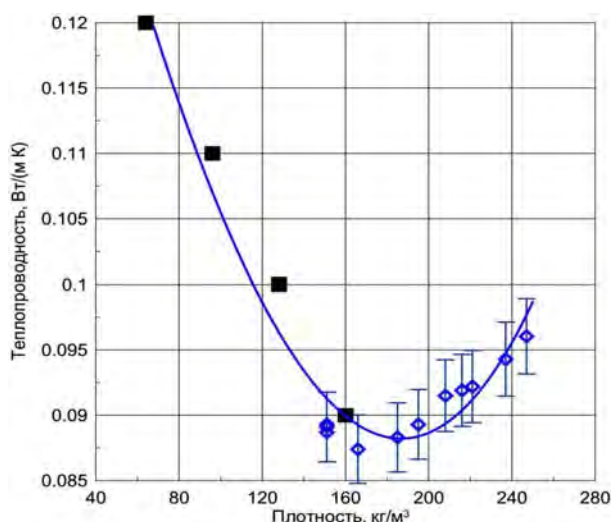


Рисунок 4 – Волокнистые модули Cerablanket, предназначенные для монтажа футеровки, и зависимость эффективной теплопроводности материала Cerablanket от плотности: синие маркеры – результаты измерений, черные – справочные данные производителя [3].

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

**Итоги 5-й международной научно-технической
конференции «Современные методы
и приборы контроля качества
и диагностики состояния объектов»**

Сергеев С.С.

В статье подводятся итоги 5-й международной научно-технической конференции «Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов», состоявшейся в г. Могилеве 24-25 сентября 2014 г. на базе Белорусско-Российского университета. Отмечается, что в ходе прошедшей конференции состоялось обобщение новых результатов исследований и обмен опытом между учеными и специалистами различных организаций и стран в области неразрушающего контроля и технической диагностики материалов, промышленных изделий и сооружений.

Results of the fifth international scientific and technical conference "modern methods and devices of quality control and diagnostics of a condition of objects" which took place in Mogilev on September 24-25, 2014 on the basis of the Belarusian-Russian university are given in article. It is noted that during last conference generalization of new results of researches and exchange of experience between scientists and specialists of various organizations and the countries in the field of nondestructive control and technical diagnostics of materials, industrial products took place.

В г. Могилеве (Республика Беларусь) 24-25 сентября 2014 года на базе Белорусско-Российского университета проходила 5-я международная научно-техническая конференция «Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов». Организацией подготовки и проведением конференции занимались Белорусско-Российский университет, Институт прикладной физики Национальной академии наук Беларуси, Белорусская ассоциация неразрушающего контроля и технической диагностики, Российское общество по неразрушающему контролю и технической диагностике и УП «Белгазпромдиагностика».

Конференция была посвящена памяти директора Института прикладной физики Национальной академии наук Беларуси доктора физико-математических наук МИГУНА Николая Петровича, председателя Белорусской ассоциации неразрушающего контроля и технической диагностики, внесшего большой вклад в развитие этого важного направления науки и техники.

Целью научно-технической конференции и проходившей в ее ходе выставки являлось обобщение результатов работ и обмен опытом между специалистами различных организаций и стран в области разработки и практического применения неразрушающих методов и средств контроля качества материалов, промышленных изделий, сооружений и технологического оборудования, а также в области диагностирования потенциально опасных объектов, сертификации и подготовки квалифицированных кадров.

Работа конференции реализовывалась по нескольким направлениям: дефектоскопия материалов и промышленных изделий; контроль структуры и физико-механических характеристик материалов и изделий; контроль геометрических параметров объектов; мониторинг, диагностика и прогнозирование остаточного ресурса технических объектов; компьютерные технологии в неразрушающем контроле.

В конференции и выставке приняли участие более 70 представителей из 40 промышленных предприятий и организаций, академических институтов и вузов. Было представлено 109 докладов учеными из 5 стран (Беларусь, Россия, Украина, Польша, Китай). Активное участие в конференции и выставке приняли студенты, магистранты и аспиранты Белорусско-Российского университета.

Со стороны академической науки были представлены доклады ведущими институтами в области физики неразрушающего контроля и технической диагностики стран СНГ (среди которых Институт прикладной физики, Объединенный институт машиностроения и Институт физики НАН Беларуси, Институт физики металлов и Институт машиноведения Уральского отделения РАН и ряд других институтов). Вузовская наука была представлена коллективами Белорусско-Российского университета, Белорусского национального технического университета, НИИ прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко БГУ, Национального исследовательского университета «МЭИ» (г. Москва), Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ», Национального минерально-сырьевого университета «Горный» (Санкт-Петербург), Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт» и другими вузами. Ряд сообщений сделали известные ученые из научно-производственных объединений и предприятий.

На пленарном заседании выступили ученые и специалисты двух стран, которые рассказали о достижениях и перспективах развития неразрушающего контроля в Республике Беларусь и Российской Федерации.

С приветственным словом к участникам конференции обратился проректор по научной работе Белорусско-Российского университета Пашкевич В.М. Он отметил значимость этого форума для университета и региона в целом, а также рассказал о достижениях ученых университета в области неразрушающего контроля и диагностики и их вкладе в обеспечение безопасности промышленных объектов в Республике Беларусь. Также участников конференции приветствовал в формате видеоролика президент Российского общества по неразрушающему контролю и технической диагностике академик РАН Горкунов Э.С.

Большой интерес вызвал доклад директора НИИ интроскопии МНПО «Спектр» академика РАН Ключева В.В. (г. Москва), представленный в формате видеоролика. В докладе рассмотрены перспективы развития неразрушающего контроля. Особо подчеркивалось, что получение новых фундаментальных и прикладных научных результатов и разработка на их основе современных высокоэффективных приборов и методик неразрушающего контроля и технической диагностики – одна из главных необходимых составляющих качества и конкурентоспособности выпускаемой продукции, гарантирующая безопасность промышленных, транспортных, энергетических, строительных объектов.



В пленарном докладе д.т.н. Михнева В.А. (Институт прикладной физики НАН Беларуси) рассмотрены перспективные направления развития радиоволнового метода неразрушающего контроля, связан-

ные с расширением диапазона рабочих частот. В субтерагерцовом и терагерцовом диапазонах частот, которые начинают осваиваться в последнее время, появляются такие новые многообещающие применения, как визуализация объектов и анализ состава различных материалов. Терагерцовая визуализация высокого разрешения может использоваться в антитеррористических приложениях, медицине, автоматическом контроле содержимого почтовых отправлений. Терагерцовая спектроскопия способна контролировать состав и структуру лекарств, пищевых продуктов, разнообразных химических композиций и др. Зондовая микроволновая микроскопия существенно расширяет возможности атомно-силовой микроскопии и может применяться для контроля полупроводниковых структур, новых материалов на основе керамик, сегнетоэлектриков, графена, биологических мембран и т.п. с латеральной разрешающей способностью до 20-50 нм.

Д.т.н Крень А.П. (Институт прикладной физики НАН Беларуси) в своем докладе представил последние достижения в области испытаний конструкционных материалов методом динамического индентирования, осуществляемого в режиме ударного нагружения. Им были обобщены результаты исследований отечественных и зарубежных ученых, что позволило выстроить концепцию и методологию получения достоверных и объективных данных о физико-механических свойствах (твердости, прочности, модуле упругости, трещиностойкости) и остаточном ресурсе металлов, композитов и полимеров. В докладе показаны пути расширения функциональных возможностей существующего на рынке оборудования (динамических твердомеров, склерометров) для неразрушающего контроля металлов и строительных материалов (бетонов). Показано, что полученные в ИПФ НАН Беларуси новые научные результаты позволяют решить задачу контроля прочности углеродных пространственно-армированных материалов методом индентирования с учетом анизотропии свойств.

В докладе зав. кафедрой «Электроакустика и ультразвуковая техника» профессора К.Е. Аббакумова (СПбГЭТУ «ЛЭТИ», г. Санкт-Петербург) рассмотрены проблемы компетентного подхода при реализации учебного процесса в соответствии с новыми образовательными стандартами для подготовки специалистов по неразрушающему контролю и диагностике, возможности реализации практико-ориентированного обучения с учетом потребностей работодателей от промышленности, вопросы преобразований в высшей школе и возможные пути повышения качества подготовки специалистов. Приведены структура и сравнительный анализ белорусских и российских

образовательных программ. Рассмотрены особенности инновационного подхода к построению учебных занятий и организации самостоятельной работы студентов, особенности практико-ориентированного государственного междисциплинарного экзамена, структура дипломных проектов и работ. Докладчик отметил, что проблема подготовки квалифицированных кадров по неразрушающему контролю с высшим базовым образованием сегодня, как никогда, важна и актуальна.

Доклад профессора Артемьева Б.В. (МНПО «СПЕКТР», Москва) был посвящен системе дистанционного обучения в рамках Российского общества по неразрушающему контролю и технической диагностике, которая позволяет всем заинтересованным в получении знаний, необходимых для последующей сертификации специалистам, пройти теоретическую подготовку без отрыва от работы и самостоятельно проконтролировать уровень полученных теоретических знаний. Для этого используются специально разработанные электронные ресурсы. Подобный подход к обучению персонала постепенно становится доминирующим мировым трендом. Крупнейшие международные организации, в том числе МАГАТЭ, признают, что возможности, предоставляемые дистанционной системой обучения, являются самым актуальным инструментом для дальнейшего развития и гармонизации системы сертификации персонала. Система имеет модульную архитектуру, поэтому легко расширяется, модернизируется и масштабируется.

От производителей выступил генеральный директор УП «Белгазпромдиагностика» Иванов А.В. В своем сообщении он привел результаты анализа промышленного использования современных технологий неразрушающего контроля. Было отмечено, что необходимо объединение усилий различных организаций стран СНГ для внедрения новых нормативно-правовых актов, в том числе стандартов по новейшим технологиям контроля. Это будет способствовать повышению уровня безопасности при эксплуатации потенциально опасных объектов, а также улучшению качества выпускаемой продукции.

Несомненный интерес вызвала демонстрация новых приборов и технологий ультразвукового неразрушающего контроля сварных швов металлов (TOFD-метод и фазированные решетки), новых разработок в области радиографического контроля ООО «Синтез НПФ» (г. Санкт-Петербург), приборов дистанционного визуально-оптического контроля.

На секции «Дефектоскопия материалов и промышленных изделий» наибольшее количество докладов было посвящено акустическим методам контроля, включая его разновидности – ультразвуковой и оптоакустический. Часть докладов относились к магнитографическому методу, методу шумов Баркгаузена, тепловизионному контролю, метрологии, включая создание эталона магнитного поля и анализу подходов к метрологии современных ультразвуковых дефектоскопов.



Значительная часть докладов была направлена на решение актуальных проблем промышленности. Из докладов, посвященных акустическим методам, можно отметить работы Абакумова К.Е. и Коновалова Р.С. (СПГЭУ, Санкт-Петербург), в которых развита теория рассеяния волн Рэлея трещиноподобным дефектом, конкретизированы энергетические параметры возбуждаемых акустических мод, трансформированных в объемные волны при изменении граничных условий, включая модель нежесткого соединения. Важные для практики и развития теории распространения волн Стоунли и головных волн результаты представлены в докладах сотрудников ИПФ НАН Беларуси и БРУ (Баев А.Р., Сергеева О.С, Майоров А.Л., Асадчая М.В., Коновалов Г.Е.). В частности, экспериментально впервые показана принципиальная возможность распространения слабо затухающих квазипродольных волн вдоль границы металл-полимер и предложена теоретическая модель, хорошо согласующаяся с опытными данными. Дано теоретическое объяснение экспериментально обнаруженных авторами особенностей распространения объемных волн, трансформированных на выступе из волны Рэлея, и выявлена роль отходящей поперечной моды, трансформированной из краевой головной волны, и формирования результирующего акустического поля поперечных волн.

В работе коллектива сотрудников ИПФ НАН Беларуси (Баев А.Р., Стойчева И.В., Костюк А.Н.) и ИФ НАН Беларуси (Митьковец А.И., Гуделев В.Г.) дальнейшее развитие получил оптоакустический контактный метод обнаружения поверхностных несплошностей (усталостные трещины и поры) с использованием импульсно-лазерного возбуждения ультразвука. Представлены данные, свидетельствующие о возможности существенного повышения чувствительности контроля трещин с малым раскрытием ($\sim 0,5$ мкм) при установке источника лазерного излучения на расстоянии нескольких метров от объекта контроля.

Необходимо отметить работу Шилова А.В., Новикова В.А., Кушнера и др. (БРУ), в которой показана высокая эффективность выявления подповерхностных дефектов в стальном литье магнитооптическим методом. Особенность его заключается в использовании поляризуемых в магнитных полях гибких пленок, позволяющих визуализировать остаточные поля. Представлены методические подходы, позволяющие нивелировать влияние мешающих факторов и оптимизировать условия контроля.

Решению важной задачи по установлению степени усталости металла методом шумов Баркгаузена посвящена работа сотрудника ИПФ НАН Беларуси Бусько В.А. Разработаны оригинальная методика и компактное измерительное устройство, позволяющее в непрерывном режиме вести измерительный процесс, фиксируя спектральный шум непосредственно из области приложения сил изгибных колебаний испытательного устройства. Полученные спектрограммы позволяют определить условия приближения структуры металла к деструктивному состоянию.

Работа Лухвича А.А., Гусева А.П., Пиунова В.Д. (ИПФ НАН Беларуси) направлена на создание эталона магнитной индукции переменного магнитного поля. Представлены данные о погрешностях измерений и однородности магнитного поля в рабочих объемах.

Тепловизионному контролю для обнаружения дефектов дорожного покрытия посвящена работа Мельниковой И.С. и Борисова В.И. (БРУ), в которой показана принципиальная возможность выявления дефектов покрытия с чувствительностью и надежностью не хуже традиционно используемых методов визуального контроля.

В обзорном докладе сотрудников БелГИМ Жагоры Н.А. и Федорова В.В. изложены новые подходы к метрологическому обеспечению современных ультразвуковых дефектоскопов в связи с вводом в действие межгосударственного стандарта ГОСТ EN 1266.

На секции «Контроль структуры и физико-механических характеристик материалов и изделий» представленные доклады имели преимущественно прикладное значение по следующим основным направлениям: магнитный, оптический, вихретоковый, радиоволновый контроль, контроль физико-механических характеристик, электрохимический контроль, контроль параметров жидких сред, разрушающий контроль.

Результаты исследований по магнитным методам контроля структуры и физико-механических характеристик материалов и изделий представили сотрудники ИПФ НАН Беларуси, Объединенного института машиностроения (г. Минск), Института физики металлов УРО РАН (Екатеринбург). Доклады сотрудников ИПФ НАН Беларуси были посвящены практическим вопросам неразрушающего контроля различных объектов из инструментальных, легированных, углеродистых сталей, новым информативным параметрам при магнитном контроле, совершенствованию оборудования и методик контроля, учету структурной и геометрической неоднородности поверхности объектов при построении калибровочных характеристик в процессе контроля остаточных напряжений методом эффекта Баркгаузена, исследованию возможности контроля коэффициента нормальной анизотропии листового проката стали импульсным магнитным методом, разработке метода и прибора для обнаружения витковых замыканий в тороидальных трансформаторах, магнитодинамическому методу контроля содержания ферромагнитной фазы в нержавеющей сталях аустенитного класса. Большой интерес вызвал доклад д.т.н. Креня А.П. по определению физико-механических характеристик пространственно-армированных углеродных композиционных материалов.

Доклады д.т.н. Сандомирского С.Г. (ОИМ НАН Беларуси) посвящены особенностям намагничивания чугунов, совершенствованию преобразователей для измерения остаточного магнитного потока изделий массового производства.

В докладах представителей Института физики металлов УРО РАН (г. Екатеринбург) рассмотрено применение аппаратуры для определения ферромагнитных неоднородностей в различных средах, исследованию магнитных свойств деформированных и термообработанных сталей.

Доклады сотрудников Белорусско-Российского университета были посвящены проблемам мутнометрии масел с помощью средств волоконной оптики, анализу полей механических напряжений в автомобильных закаленных стеклах.

Большой интерес вызвал доклад Тявловского О.К. (БНТУ) «Измерительный преобразователь прибора контроля параметров жидких технологических сред на базе трансформаторного датчика». Слушателей заинтересовали коммерческие возможности разработки и перспективы ее использования.

Представителями Витебского государственного технологического университета и РИУП «Научно-технологический парк Витебского государственного технологического университета» сделаны стендовые доклады, которые были посвящены экспресс-методу определения несминаемости тканей, анализу показателей качества материалов для водозащитной одежды и моделированию процесса испытания полимерных материалов на изгиб.

В работе секции приняли участие представители ОАО «Беларуськалий» (г. Солигорск) и ОАО «Гомельский литейный завод «Центролит», а также студенты Белорусско-Российского университета.

На секции «Контроль геометрических параметров объектов» были представлены 16 докладов и одно внеплановое выступление аспиранта ИТМО Бондарева Ю.О. из Санкт-Петербургского национального университета, доклад которого касался возможностей видеоэндоскопов для количественной оценки размеров дефектов в труднодоступных местах изделий.

Три доклада сотрудников ИПФ НАН Беларуси (Рудницкий В.А., Лухвич А.А., Чернышев А.В.) были посвящены решению актуальной проблемы контроля толщины защитных хромоникелевых покрытий камер сгорания жидкостных ракетных двигателей. Ввиду сложности проблемы из-за наличия множества мешающих факторов авторами были представлены результаты исследований трех физических методов: магнитного пондеромоторного, магнито-динамического и токовихревого методов, каждый из которых обладает присущими ему достоинствами и недостатками. Доклады вызвали большой интерес вследствие своей конкретики и практической направленности.

В докладе Ермаковича О.Л. (НИИ ПФП им. А.Н. Севченко БГУ) был рассмотрен вопрос повышения точности определения плотности бумажного полотна радиоизотопным плотномером. В работе подробно рассматривались различные варианты пассивной компенсации влияния рассеяния бета излучения на контролируемом полотне.

Михнев В.А. (ИПФ НАН Беларуси) привел обзорный анализ резонансных микроволновых датчиков для определения толщины неэлектропроводящих покрытий, нанесенных на металлическое основание, и датчиков для измерения влажности материалов.

В докладе Примака И.У. (БРУ) были представлены теоретические исследования и расчеты определения толщины наноразмерных металлических слоев на кремниевой подложке. Работа была позиционирована как необходимый задел для проведения последующей хозяйственной работы с ОАО «Интеграл».

На секции «Мониторинг, диагностика и прогнозирование остаточного ресурса технических объектов» было заявлено 28 докладов, посвященных оценке физического состояния различных технических объектов, из которых 6 относятся к акустической диагностике технических устройств, 5 докладов посвящены трибодиагностике узлов трения, 6 докладов посвящены оценке остаточного ресурса различных технических объектов, 4 доклада связаны с различными аспектами контроля протяженных технических объектов, к которым относятся металлические трубы и корпуса морских судов.

В докладе Холодилова О.В. и других сотрудников БелГУТ, ГГУ им. Ф. Скорины, РУП «Гомельэнерго» описывается комплексный подход к оценке качества подшипников качения на основе применения электрорезистивного метода и метода акустической эмиссии. Полученные результаты легли в основу разработанного стенда, позволяющего оценить качество подшипников.

В докладах сотрудников БНТУ Жарина А.Л., Пантелеева К.В., Свистуна А.И. исследуются особенности диагностики узлов трения с использованием в качестве первичного преобразователя вибрирующего конденсатора, что позволило применить величину контактной разности потенциалов и плотность статического электрического заряда в качестве информационных параметров при оценке состояния поверхностей трущихся деталей.

В докладах сотрудников БГУИР Бранцевича П.Ю., Базылева Е.Н. определен обобщающий параметр виброперемещений, который позволяет определить техническое состояние объекта при его пуске или останове. Разработаны соответствующие программные средства оценки технического состояния.

Поиску информационных признаков, позволяющих оценивать техническое состояние динамических объектов по измерению вибрационных сигналов, посвящены три доклада сотрудников ФГБОУ ВПО «Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова».

В докладе сотрудников Севастопольского национального университета ядерной энергии и промышленности Елисеева М.А., Маловик К.Н. обосновано введение ряда случайных характеристик и пара-

метров, а также границ их изменения для более точного определения остаточного ресурса потенциально опасных технических объектов.

В докладе сотрудников Восточнoукраинского национального университета им. В. Даля (г. Луганск) и Херсонской государственной морской академии Мирошников В.В. и Нестеренко В.Б. показано, что измерение остаточной намагниченности участков корпуса судна позволяет определить знак и величину механических напряжений корпуса.

В докладе «Оценка состояния шарниров противовеса дворцового моста с помощью метода акустической эмиссии» сотрудника «ФГБОУ ВПО «Национальный минерально-сырьевой университет «Горный» Носова В.В. обосновывается применение метода акустической эмиссии для оценки нагрузки шарнира.

В целом, все доклады на заседании секции содержали новые интересные научные и технические результаты.

На секции «Компьютерные технологии в неразрушающем контроле» ученые Гомельского ГТУ им. П.О. Сухого С.И. Бахур и В.Н. Галушко представили доклад, посвященный разработке методов и математических моделей количественной оценки показателей эксплуатационной надежности и эффективности работы электрооборудования, позволяющих учесть основные влияющие факторы. В докладе ученых БРУ А.Н. Василенко и др. было представлено программное обеспечение поляризационно-оптического метода контроля механических напряжений в протяженных объектах. Разработанный программный пакет позволяет получить массив абсолютных значений напряжений вдоль всей поверхности протяженного объекта и оценить его состояние. Совместный доклад представителей Китая и Беларуси (Кан Шоучян, Ван Юйцзин, А.В. Микулович, В.И. Микулович) был посвящен анализу спектра Гильберта сигналов вибрации подшипников качения с использованием метода EEMD и предложенного алгоритма выбора эффективных компонентов IMFs, что позволяет лучше выявлять локальные детали сигналов и идентифицировать наличие дефектов подшипников качения. В двух докладах представителей Минского государственного высшего авиационного колледжа был представлен технический облик современного универсального информационно-диагностического комплекса для оценки состояния авиационных двигателей. Ряд докладов был посвящен моделированию различных преобразователей и магнитных полей.

Необходимо отметить, что большинство представленных докладов были выполнены на высоком научно-техническом уровне и вы-

зывают интерес как для производителей, так и для специалистов, разрабатывающих методы и средства неразрушающего контроля. Рекомендовалось наиболее интересные научные результаты, представленные в докладах на конференции, опубликовать в специализированных научных журналах.

Проведенная конференция помогла участникам обменяться новейшими результатами в области физики и техники неразрушающего контроля и технической диагностики, были установлены научные и деловые контакты между академическими и вузовскими учеными и специалистами от промышленности.

Статья поступила в редакцию 02.10.14

Сообщение о Республиканском научно-техническом семинаре

26 июня 2014 г. в конференц-зале Института прикладной физики НАН Беларуси Белорусским обществом неразрушающего контроля и технической диагностики (БАНКиТД) был проведен Республиканский научно-технический семинар на тему «Техническая диагностика. Современные технические и нормативные средства обеспечения безопасности ответственных объектов в Республике Беларусь». Благодаря актуальной повестке дня семинар собрал более 40 ведущих специалистов Белорусских предприятий и государственных органов.

Особый интерес, как информацию из «первых уст», представило выступление первого заместителя Госстандарта Республики Беларусь В.Л. Гуревича на тему «Принципы регулирования в Таможенном и Евразийском Союзах». В своем выступлении В.Л. Гуревич изложил обширную концепцию интеграции Республики в нормативную и законодательную среду обоих Союзов. Он также остановился на нерешенных вопросах интеграции и обрисовал подходы к их решению.



Рис. 1. Разработки Института прикладной физики НАН Беларуси в области НК и ТД (из доклада заместителя директора института С.А. Новикова).

Большой интерес привлекли перспективы развития союзной нормативной базы по аттестации технической продукции и оценки ее качества, для окончательной разработки которой предстоит сделать еще очень много.

Проф. В.Л. Венгринович (ИПФ НАНБ) представил доклад члена-корреспондента РАН Н.А. Махутова «Технологическая платформа **«Интеллектуальные системы диагностики»** (ТПИСД) в Российской Федерации. Современное состояние проблемы технического диагностирования и оценки остаточного ресурса». Изложена новая концепция комплексной безопасности в промышленности и энергетике, в основу которой положены следующие ключевые проблемы: технологическая диагностика (ТД) и мониторинг технического состояния потенциально опасных объектов промышленности, энергетики, строительства, прогнозирование их остаточного ресурса; экологический мониторинг и диагностика; антитеррористическая диагностика и медицинская диагностика. Для целей комплексной ТД признано эффективным комбинирование методов НК (лазерно-ультразвуковой, вихретоко-тепловой, магнитно-вихретоковый и др.). ТПИСД должна охватывать все секторы экономики и рынки. Изложена также инновационная стратегия развития НК и ТД, включающая широкое использование беспилотных летательных аппаратов. Главной характеристикой современного этапа развития НК и ТД является один из базовых технологических трендов первой половины XXI века — усиление конвергенции (взаимопроникновения) технологий, стирание границ между отдельными технологиями и областями знаний. В 2013 г. начала работать система добровольной аккредитации компаний, работающих в сфере разработки, производства, услуг в области НК и ТД. Создан экспертный совет РОНКТД по добровольной аккредитации компаний НК. В России ведется активная работа по гармонизации национальных стандартов с международными стандартами, по внедрению ISO 9712:2012. Наиболее интересные материалы по НК и ТД публикуются в российских периодических изданиях «Контроль. Диагностика», «Дефектоскопия», «В мире НК», а также совместном журнале «Территория NDT».

Заместитель директора ИПФ по науке С.А. Новиков кратко остановился на работах Института прикладной физики в области НК и ТД.

Большой круг вопросов по разработке средств диагностики в Белорусском национальном техническом университете был затронут в выступлении члена-корреспондента НАНБ, первого проректора БНТУ Ф.И. Пантелеенко на тему: «Инструментальные методы технического диагностирования и оценки ресурса». Особую ценность представляют разработанные средства непосредственной оценки степени деградации материала и остаточного ресурса по характеристикам погружения индентора в материал.

Традиционно большой интерес вызвало сообщение представителей Белорусского Государственного Центра по Аккредитации на тему: «Аккредитация лабораторий в области технического диагностирования: заместителя директора В.А. Шарамкова и ведущего специалиста Л.А. Кушмар, в котором они изложили весь спектр требований к диагностическим лабораториям, который предъявляется при аккредитации. Вопросы единства требований к нормативной документации в РБ по ТД и оценке ресурса были рассмотрены в интересном сообщении начальника отдела диагностики Госпромнадзора МЧС РБ А.М. Боброва. Ясно, что регламентация норм и требований в этой области в РБ находится в зачаточном состоянии и основная работа в этом направлении еще впереди. В несколько лучшем положении находится состояние нормативной базы по техническому диагностированию и оценке остаточного ресурса на объектах, подведомственных Госатомнадзору РБ. Сообщение на эту тему сделал ведущий специалист Госатомнадзора РБ А.В. Приходько.

На заседании семинара членами БАНКиТД был рассмотрен вопрос о выборах председателя ассоциации. Было решено провести его открытым голосованием. Единогласно председателем БАНКиТД был избран проф. В.Л. Венгринович. Также рассмотрен вопрос о кооптации в Правление БАНКиТД еще одного члена. Собрание единогласно утвердило на это место кандидатуру заместителя директора ИПФ НАНБ С.А. Новикова и избрало его заместителем Председателя БАНКиТД.



Рис. 2. Выступление 1-го заместителя
Председателя Госстандарта РБ
В.Л. Гуревича

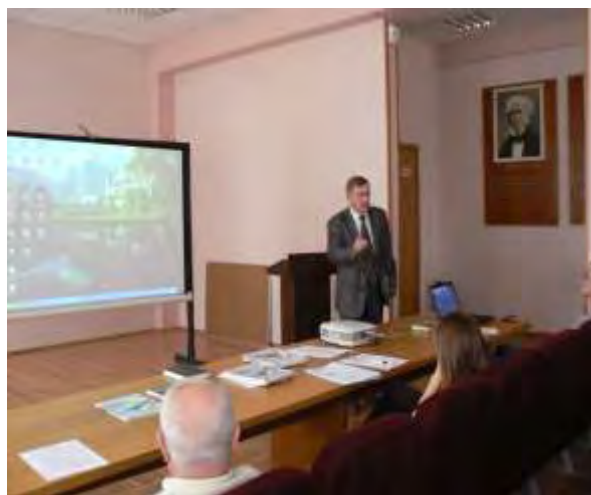


Рис. 3. Выступление 1-го проректора
БНТУ чл.- корр. НАНБ
Ф.И. Пантелеенко



Рис. 4. Участники семинара на заседании



Рис. 5. На выставке приборов

В.Л. Венгринович

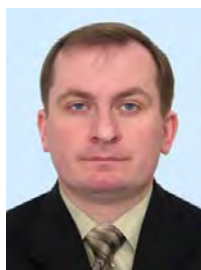
Статья поступила в редакцию 10.12.14



Венгринович Валерий Львович

Vengrinovich V.L.

доктор технических наук, профессор
ГНУ «Институт прикладной физики НАН Беларуси»,
заведующий лабораторией
Адрес: 220072 Минск, ул. Академическая, 16
Тел./факс (017) 284-23-44,
e-mail: veng@iaph.bas-net.by



Гринчук Павел Семенович

Grinchuk P.S.

кандидат физико-математических наук
Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова
НАН Беларуси, заведующий лабораторией
Тел.: +375-17-284-13-46,
моб.: +375-29-754-61-75
e-mail: gps@hmti.ac.by



Матюк Владимир Федорович

Matyuk V.F.

доктор технических наук, профессор
Республиканское научно-производственное унитарное
предприятие «Диатех»
Адрес: 220072 Минск, ул. Академическая, 16
Тел. +(375 17) 284 14 40,
e-mail: matyuk@tut.by



Никищенко Алексей Николаевич

Nikishenko A.N.

ООО «КБ коммутационной аппаратуры», ведущий инженер
Тел. (+7978)0448466,
e-mail: sklibur@rambler.ru



Обжерин Юрий Евгеньевич

Obzherin Yu.E.

доктор технических наук, профессор,
Севастопольский национальный технический университет,
зав. кафедрой высшей математики,
Тел. (+78692)435373,
e-mail: objsev@mail.ru



Сергеев Сергей Сергеевич

Sergeev S.

кандидат технических наук, доцент
Белорусско-Российский университет,
заведующий кафедрой
Адрес: 212005, г. Могилев, ул. Ленинская, 89
Тел.: +375 222 22 52 12,
e-mail: sss@tut.by



Сосновский Дмитрий Николаевич

Sergeev S.

Военная академия Республики Беларусь
Тел.: 8-017-287-46-65,
моб.: 8-029-703-98-94
e-mail: dimasn@tut.by



Стетюкевич Николай Иванович

Nicolae Stetyukevich

кандидат технических наук
Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова
НАН Беларуси, старший научный сотрудник
Тел.: +375-17-284-23-94,
моб.: +375-33-388-87-25
e-mail: sni.itmo@gmail.com



Шевцов Виктор Феликсович

Viktor Shevtsov

Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова
НАН Беларуси, научный сотрудник
Тел.: +375-17-284-23-94,
моб.: +375-29-702-91-77
e-mail: shevcov@iaph.bas-net.by

**Правила для авторов
научно-практического журнала
«Неразрушающий контроль и диагностика»**

Для публикации оригинальной статьи авторы должны представить в редакцию следующие материалы:

1. Авторское заявление с указанием контактной информации (в электронном и бумажном виде).

2. Направление от организации, в которой выполнялась работа (в бумажном виде на бланке организации). Направление не требуется, если работа выполнялась за рубежом.

3. Файл с текстом статьи в формате WinWord, а также в бумажном виде или в электронном в формате pdf. Если одновременно с русским текстом статьи по желанию авторов публикуется ее английский перевод, он представляется отдельно.

4. Файлы в формате WinWord с текстом аннотации на русском и английском языках. Перевод на английский язык осуществляется авторами. Каждая аннотация, кроме собственно текста, должна включать в себя заглавие статьи, фамилии и инициалы авторов, также на русском и английском языках.

5. Файл в формате WinWord, в котором следует указать информацию для Авторского указателя:

- на русском языке – сведения об авторах (фамилия, имя, отчество полностью, ученая степень, звание, должность, место работы, телефон, факс, адрес электронной почты и другая контактная информация по усмотрению автора);

- на английском языке – транслитерацию фамилий и имен авторов, а также название учреждений, где выполнялась работа.

6. Фотографии авторов в электронном виде для размещения в Авторском указателе. Фамилия автора должна входить в имя файла с фотографией.

Бумажные версии документов могут быть представлены в редакцию любым из следующих способов:

- отправлены по факсу редакции: **(+375 17) 284 17 40;**

- присланы обычной почтой или переданы непосредственно по адресу: 220072, г. Минск, ул. Академическая, 16, **Государственное предприятие «Диа-тех», редакция журнала «Неразрушающий контроль и диагностика».**

Электронные версии документов должны быть присланы в редакцию по электронной почте на адрес *info@science.by*.

К публикации в журнале «Неразрушающий контроль и диагностика» принимаются статьи, прошедшие рецензирование. Поступившая в редакцию рукопись направляется по выбору редакции на отзыв специалисту в данной области исследований. Решение о публикации принимается редакционной коллегией журнала на основании экспертных оценок рецензентов с учетом соответствия представленных материалов тематической направленности журнала, их научной значимости и актуальности. Рукопись, получившая отрицательные отзывы двух независимых рецензентов, решением редколлегии отклоняется.

Как правило, объем статьи не должен превышать 10-15 страниц машинописного текста (включая таблицы и список литературы на отдельных страницах), количество иллюстраций – не больше четырех. Объем научного обзора не должен превышать 25 страниц.

Статьи должны быть написаны на русском (или английском) языке, отредактированы и оформлены в соответствии с нижеследующими требованиями.

Основной текст статьи

Каждая статья должна представлять собой файл, содержащий текст, набранный в редакторе WinWord, шрифт Cambria, кегль 14 пунктов, 1 интервал. При отсутствии установленного шрифта Cambria допустимо использовать шрифт Times New Roman. Должен быть включен режим автоматического переноса.

Перед текстом статьи отдельной строкой в левом верхнем углу обязательно должен быть приведен код универсальной десятичной классификации (УДК) тематики статьи (шрифт – кегль 12, курсив).

Статья начинается с заголовка, который пишется строчными буквами полужирным шрифтом размером 16 пунктов. Далее следует список авторов в формате «фамилия, инициалы», который пишется полужирным шрифтом 14 пунктов. Имена авторов разделяются запятыми.

Текст аннотации в виде абзаца с выравниванием по ширине с отступами 5 мм справа и слева шрифтом 12 пунктов.

Страницы статьи не должны быть пронумерованы. Поля на странице должны быть: левое и правое – по 25 мм, верхнее – 30 мм, нижнее – 32 мм.

Графические иллюстрации

Таблицы, иллюстрации и подписи к ним размещаются в тексте статьи при первом их упоминании. При этом следует избегать использования опции «обтекание текста».

Таблицы снабжаются тематическими заголовками и нумеруются арабскими цифрами в порядке их упоминания в тексте. Все графы в таблицах должны иметь заголовки. Сокращение слов в таблицах не допускается. Все аббревиатуры должны быть расшифрованы в сносках к таблице.

Графики и схемы должны выполняться с помощью графического редактора CorelDraw. Использование графических средств Microsoft Office крайне нежелательно из-за частых искажений рисунков при верстке, преобразовании в pdf-формат и печати. Рисунки следует присылать в виде отдельных файлов с сохранением форматов, использованных для их создания. Недопустимо использовать при создании рисунков «волосяные» линии (1/4 пункта). Эти линии хорошо видны на экране монитора, но исчезают в печатной версии документа.

Фотографии представляются в виде отдельных файлов в форматах jpeg, tiff, bmp, png с разрешением 300-600 dpi.

Штриховые рисунки, выполненные от руки, должны быть отсканированы в режиме bitmap с разрешением не ниже 600 dpi и сохранены в формате tiff.

Формулы

Математические формулы набираются в WinWord встроенным редактором формул, в качестве которого в последних версиях WinWord используется упрощенный вариант редактора формул MathType. В случае недостаточности упрощенного варианта необходимо установить полную коммерческую версию MathType. Уравнения располагаются по центру строки и нумеруются арабскими цифрами в круглых скобках в порядке их упоминания в тексте. Номера уравнений выравниваются по правому краю строки. Уравнения отделяются от текста сверху и снизу одной пустой строкой. При написании нескольких уравнений они также разделяются пустой строкой.

В НОМЕРЕ

НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ	3
Методика расчета температурных портретов объектов наземной техники <i>Сосновский Д.Н.</i>	3
Влияние зазора между накладным преобразователем и образцом при импульсной магнитной структуроскопии <i>Матюк В.Ф.</i>	11
НАУКА И ПРАКТИКА	28
Неразрушающий контроль температурных параметров установки пайки волной припоя <i>Никищенко А.Н., Обжерин Ю.Е.</i>	28
Термодиагностика качества теплоизоляции производственного нагревательного оборудования <i>Гринчук П.С., Стетюкевич Н.И., Шевцов В.Ф.</i>	38
КОНФЕРЕНЦИИ И ВЫСТАВКИ НК И ТД	44
Итоги 5-й международной научно-технической конференции «Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов» <i>Сергеев С.С.</i>	44
Сообщение о Республиканском научно-техническом семинаре <i>Венгринович В.Л.</i>	56
Авторский указатель	60
Правила для авторов	62

**Приборы НК и ТД с выставки семинара
«Техническая диагностика. Современные технические
и нормативные средства обеспечения безопасности
ответственных объектов в Республике Беларусь»
(стр. 56 - 59)**

