

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС КОНТРОЛЯ ПРУТКОВ ЗЕРКАЛЬНО-ТЕНЕВЫМ МЕТОДОМ НА МНОГОКРАТНЫХ ОТРАЖЕНИЯХ

В. А. СТРИЖАК, А. В. ПРЯХИН, Р. Р. ХАСАНОВ, А. Б. ЕФРЕМОВ

*Ижевский государственный технический университет им. М. Т. Калашникова,
426069, Ижевск, Россия
E-mail: str@istu.ru*

Разработан аппаратно-программный комплекс, используемый в методе контроля прутков. Исследована производительность аппаратно-программного комплекса в различных конфигурациях оборудования, реализующего зеркально-теневой метод неразрушающего контроля с использованием многократных переотражений на проходном электромагнитно-акустическом преобразователе. Получены значения скоростей сканирования при различных параметрах объекта контроля. Произведена оценка влияния характеристик компонентов на производительность комплекса. Показаны возможности компромисса между максимально возможной скоростью сканирования прутка, длиной акустического пути и размером серии регистрируемых эхограмм исходя из баланса производительности компьютера и производительности системы регистрации. Разработанная система может быть использована при решении ряда задач структурографии, толщинометрии, дефектоскопии ЭМА-методом.

Ключевые слова: *производительность, зеркально-теневой метод на многократных отражениях, сканирование, аппаратно-программный комплекс*

Бесконтактные методы и средства ультразвукового контроля имеют очевидные достоинства: низкие требования к качеству поверхности, широкий диапазон температур и скоростей контроля и т.д. [1—4]. Чаще всего бесконтактные методы используют электромагнитно-акустический (ЭМА) преобразователь. Следует отметить многократное снижение амплитуды принимаемого сигнала при использовании совмещенного (раздельно-совмещенного) ЭМА-преобразователя [5]. Основной недостаток ЭМА-преобразователя — низкий коэффициент преобразования — преодолевается как оптимизацией систем намагничивания [6—10], повышением амплитуды зондирующего импульса, так и использованием метода усреднения по серии из N измерений [11].

Ультразвуковые дефектоскопы, представленные на рынке, как правило, не имеют функции усреднения, или усреднение производится только в ограниченном окне. Например, дефектоскоп DIO 1000 (STARMANS electronics, s.r.o., Чехия) реализует усреднение в окне размером менее 90 мкс. Толщиномер А1270 (АКС, Россия) на ЭМА-преобразователе (диаметр прутка до 50 мм) определяет временные интервалы по превышению сигналом заданного уровня и осуществляет построение графического изображения на экране прибора со скоростью до 10 кадров в секунду.

Авторами настоящей статьи разработан аппаратно-программный комплекс (рис. 1), адаптированный к использованию ЭМА-преобразователя [12], который реализует точное измерение временных интервалов с использованием функции интерполяции и автокорреляции [11]. Комплекс содержит плату АЦП фирмы Rudshel, подключенную к компьютеру по системной шине PCI или интерфейсу USB 2.0. Регистрация данных производится с разрешением по амплитуде 8 бит во внутренний буфер объемом 2 МБ. Все оригинальные компоненты (цепи защиты, фильтр, усилитель на 64 Дб, генератор на 1,5 кВ) размещены в дополнительном блоке УКП. Диапазон входного напряжения платы АЦП (± 5 ; $\pm 2,5$; ± 1 ; $\pm 0,5$ В). В качестве

цифрового узла управления используется преобразователь I/O. ЭМА-преобразователь подключен непосредственно к блоку УКП.

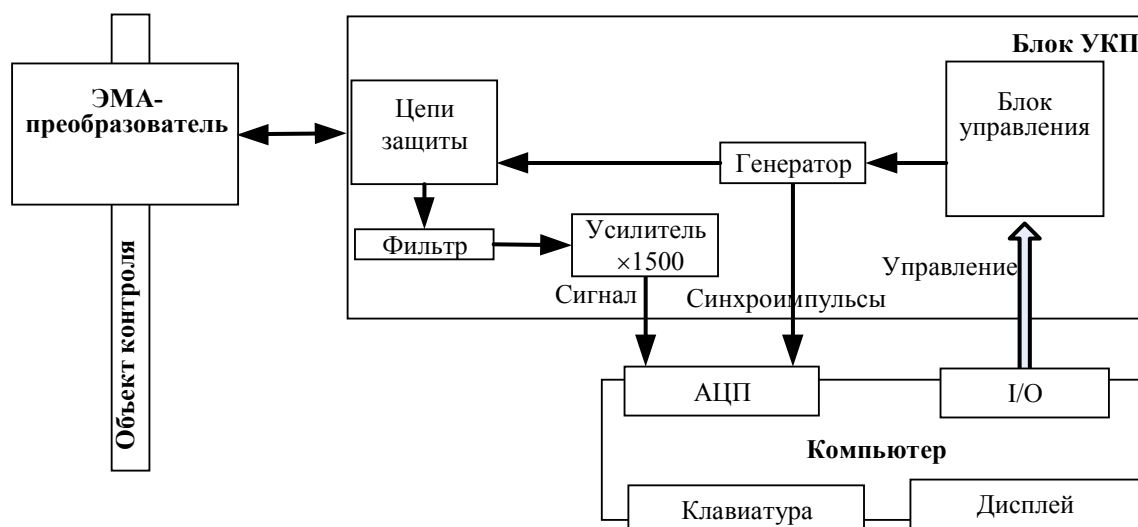


Рис. 1

Временная диаграмма работы аппаратно-программного комплекса при регистрации серии измерений приведена на рис. 2. Регистрация производится в пакетном режиме [10], при котором математическая обработка, отображение и сохранение данных происходят после получения всех результатов серии из N измерений. Синхронизация информационно-измерительной системы осуществляется через плату АЦП. Плата АЦП ожидает прихода импульса синхронизации с генератора тока УКП. Импульс синхронизации генерируется после заряда высоковольтной (1,5 кВ) цепи генератора. Зарегистрированная эхограмма помещается в память компьютера, и система вновь ожидает прихода синхроимпульса. Полученные N эхограмм серии измерений обрабатываются, отображаются на экран и, при необходимости, сохраняются в файл.

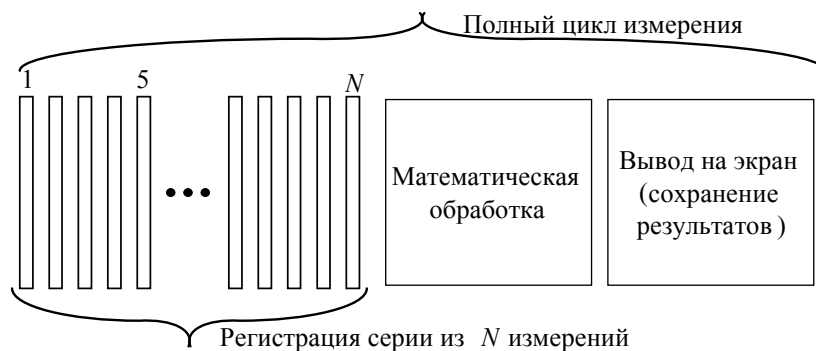


Рис. 2

Следует отметить особенность работы комплекса, при которой зондирующие импульсы могут следовать с частотой не более 120 Гц. На один импульс затрачивается энергия в ~ 1 Вт, это ограничивает потребляемую мощность устройством в 150 Вт. Реализация более скоростного режима работы генератора потребует радикального изменения энергетических характеристик комплекса.

Зеркально-теневого метод неразрушающего контроля получил дополнительное развитие в виде метода многократных переотражений, полученных на проходном электромагнитно-акустическом преобразователе [13—15]. Особенностью метода является возможность прозвучивания тела прутка без использования иммерсионной жидкости и дополнительной подготовки поверхности.

Зеркально-теневой метод контроля осуществляется проходным преобразователем. Магнитное поле преобразователя создает нормальную составляющую в поверхностном слое по поверхности прутка. Возбуждающая и измерительная обмотки находятся в зоне действия поля. Импульс тока возбуждает поперечную акустическую волну, направленную к центру прутка. Акустическая волна проходит от поверхности к центру и далее к поверхности тела прутка в зоне установки датчика. Регистрация сигналов производится в месте возбуждения акустических импульсов. Датчик содержит постоянные магниты, поэтому необходимость во временных паузах, связанных с подготовкой магнитной цепи и селекции канала регистрации, отсутствует, что существенно повышает производительность. На рис. 3 представлен пример эхограммы, зарегистрированной комплексом на прутке диаметром 11,4 мм. На эхограмме видна серия многократных переотражений по диаметру прутка. Длина временной оси составила 0,5 мс, что соответствует пути (акустический путь), пройденному акустической волной в объекте контроля — 1,6 м. Регистрируется уменьшение амплитуды сигнала при каждом переотражении акустической волны. Чувствительность зеркально-теневого метода определяется количеством зарегистрированных отражений. В условиях ограничения точности аппаратуры и значительного уровня помех, характерных для ЭМА-метода, удовлетворительные результаты получаются при регистрации достаточно большого количества (50—100) отражений (см. рис. 2), это, в свою очередь, требует от аппаратно-программного комплекса регистрации значительных объемов данных.

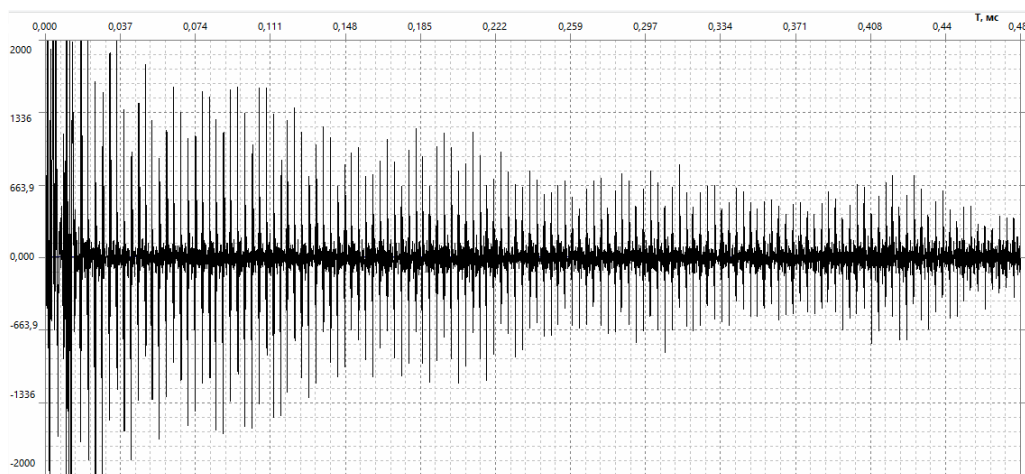


Рис. 3

Производительность комплекса исследовалась на трех вариантах аппаратной конфигурации (АЦП одного производителя). Измерения произведены для серии $N=32$. Время регистрации оценивалось как промежуток от прихода первого синхроимпульса до момента передачи серии измерений для математической обработки (суммирования результатов серии измерений, удаления постоянной составляющей, пересчета сигналов в соответствии с выбранным коэффициентом усиления, фильтрации, интерполяции полученных данных). В настройках программы задан акустический путь в 500, 1000 и 2000 мм, остальные настройки системы постоянны. Временные интервалы измерены с использованием программного обеспечения „Принц VIII“ (свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ №2015662211), работающего под управлением операционной системы Microsoft Windows.

Результаты исследования производительности комплекса для разных конфигураций компьютеров представлены в таблице. Временные интервалы получены как средние значения по трем измерениям. Из таблицы видно, что в пакетном режиме комплекс в основном затрачивает время на регистрацию сигнала (до 98 %). Самую низкую производительность показала конфигурация комплекса с платой АЦП по интерфейсу USB. Потери времени для этой платы

АЦП растут с увеличением акустического пути. Это связано с ограничением производительности интерфейса USB при передаче значительных объемов данных.

Производительность аппаратно-программного комплекса

Параметр	Конфигурация аппаратной части											
	№ 1			№ 2						№ 3		
Операционная система	Win 10–32			Win 7–32						Win 10–64		
Тип процессора	Intel Atom D2500			Intel P G2120 3.1GHz						Intel I-5 3470 3.2GHz		
Тип АЦП RudShel	ЛА-н10М8-100			ЛА-н4USB		ЛА-н10-12PCI		ЛА-н10М8-500PCI				
Частота дискретизации АЦП (интерполяции)	100 МГц (500 МГц)			125 МГц (500 МГц)		100 МГц (500 МГц)		100 МГц (500 МГц)				
Длина акустического пути, м	0,5	1,0	2,0	0,5	1,0	2,0	0,5	1,0	2,0	0,5	1,0	2,0
<i>Пакетный режим</i>												
Время регистрации, с	1,10	1,10	1,10	1,07	1,73	2,40	1,05	1,05	1,06	1,05	1,05	1,05
Общее время регистрации серии, с	1,33	1,48	1,76	1,10	1,78	2,48	1,07	1,10	1,14	1,07	1,09	1,12
Доля времени регистрации, %	82	74	63	97	97	97	97	96	93	98	97	94
<i>Непрерывный режим</i>												
Общее время регистрации серии, мс	236	361	679	70	94	159	26	46	89	25	52	83
Коэффициент повышения производительности	5,6	4,1	2,6	15,8	19,0	15,6	40,8	24,1	12,8	42,2	20,7	13,6

Использование комплекса в режиме сканирования при контроле пруткового проката в пакетном режиме вызывает естественные трудности ввиду крайне низкой скорости получения информации. С помощью комплекса с самой производительной конфигурацией прутков длиной 1 м в режиме сканирования с шагом 10 мм в пакетном режиме будет проконтролирован за 2 мин.

Типовая скорость сканирования пруткового проката для разных типов дефектоскопов варьирует в широком диапазоне. Для УЗ-дефектоскопов скорость сканирования не рекомендуют превышать 0,6 м/с [16]. Скорость сканирования вихретоковых дефектоскопов (до 5 м/с) определяется инерционностью системы [17]. Таким образом, из-за низкой скорости сканирования использование комплекса в пакетном режиме нецелесообразно.

Повысить производительность комплекса возможно, используя режим скользящего окна (непрерывный режим). Алгоритм работы стенда в непрерывном режиме приведен на рис. 4.

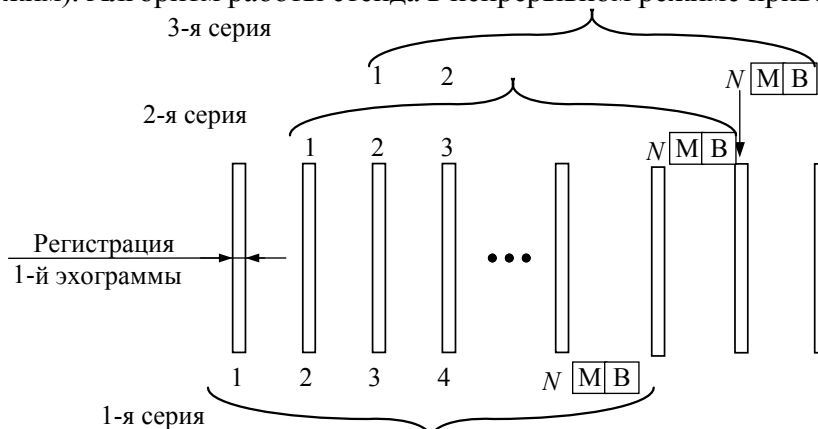


Рис. 4

Особенностью режима является распараллеливание операций регистрации эхограммы, комплектации серии эхограмм, их математической обработки (М) и вывода на экран (В).

Зарегистрированные эхограммы создают последовательность, из которой формируется серия из N эхограмм с последующим усреднением и математической обработкой. Увеличение производительности системы зависит от значения N . Из-за фиксированной частоты следования зондирующих импульсов (импульсов синхронизации) возможно возникновение скачкообразных изменений производительности, когда цикл математической обработки сигнала успевает/не успевает к ближайшему импульсу синхронизации.

Настройки стенда в непрерывном режиме совпадают с настройками стенда в пакетном режиме. Из таблицы виден существенный рост производительности по сравнению с пакетным режимом. Коэффициент производительности рассчитан как отношение общего времени, затраченного на получение результата в пакетном режиме, к общему времени работы комплекса в непрерывном режиме. Рост производительности состоялся в основном за счет снижения времени на накопление готовой серии измерений. Данный параметр чувствителен как к типу интерфейса платы АЦП, так и к характеристикам общей производительности компьютерной системы. Конфигурация № 3 показала рост производительности от 42 до 13,6 раз на глубинах прозвучивания 0,5—2,0 м: сканирование прутка длиной 1 м с шагом 10 мм в непрерывном режиме выполняется за 2,5/8,3 с (скорость сканирования — 0,4/0,12 м/с). В отличие от пакетного режима, при котором один цикл математической обработки соответствовал одной серии измерений (32 эхограммы), в непрерывном режиме цикл математической обработки производится с каждым поступлением новой эхограммы. Компьютер конфигурации № 1 справиться с возросшей расчетной нагрузкой не смог, рост производительности составил не более 2—5 %, и чем больше глубина прозвучивания, тем меньше рост производительности — его применение в непрерывном режиме нерационально. Компьютер конфигурации № 2, хотя и исчерпал запас производительности процессора, не показал отставания от № 3, так как частота дискретизации платы АЦП из конфигурации № 3 на 20 % выше, что привело к увеличению объема передаваемых и обрабатываемых им данных. Средний прирост производительности конфигурации № 2 составил 40/15 раз (в зависимости от типа интерфейса платы АЦП PCI/USB соответственно). Работа конфигурации № 2 с внешней платой АЦП в два раза медленнее, чем с внутренней платой АЦП. Соответственно использование внешней платы АЦП (интерфейс USB) для производительных систем нецелесообразно.

Таким образом, в аппаратно-программной части отсутствуют препятствия для построения комплексов со скоростью сканирования объекта до 0,5 м/с. В зависимости от требований конечного потребителя возможна разработка приборов с разной производительностью. Ограничение скорости сканирования при зеркально-теновом методе контроля прутков на многократных отражениях будет также определяться динамическими явлениями, вызванными намагничиванием объекта контроля при попадании контролируемого участка в зону намагничивающего поля ЭМА-преобразователя, что требует разработки специальной конструкции датчиков для магнитной подготовки зоны контроля.

Алгоритм скользящего окна за счет применения непрерывного режима работы позволил получить значительный прирост (до 40 раз) производительности аппаратно-программного комплекса при сканировании. Получены значения скорости сканирования зеркально-теновым методом на многократных отражениях до 0,5 м/с. Произведена оценка влияния характеристик компонентов стенда на производительность системы. Показаны возможности компромисса между максимально возможной скоростью сканирования прутка, длиной акустического пути и размером серии регистрируемых эхограмм исходя из баланса производительности компьютера и производительности системы регистрации. Разработанная система может быть использована при решении ряда задач структуроскопии, толщинометрии, дефектоскопии ЭМА-методом.

Работа выполнена в рамках проекта № 15-19-00051 Российского научного фонда.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гуревич С. Ю., Петров Ю. В. Лазерная генерация и электромагнитная регистрация нормальных акустических волн в ферромагнитных металлах // ЖТФ. 2016. Т. 86, № 3. С. 114—117.
2. Леньков С. В., Федорова Н. В. Резонансный электромагнитно-акустический метод измерения вязкоупругих свойств аморфных ферромагнитных лент, подвергнутых низкотемпературному отжигу // Физика металлов и металловедение. 2014. № 8. С. 800.
3. Матвиенко А. Ф., Корзунин Г. С., Лоскутов В. Е., Бабкин С. А. Опыт контроля состояния труб магистральных газопроводов электромагнитно-акустическим методом // Дефектоскопия. 2015. № 9. С. 28—37.
4. Муравьев В. В., Волкова Л. В. Оценка величины натяга бандажей локомотивных колес методом акустоупругости // Дефектоскопия. 2013. № 9. С. 40—46.
5. Буденков Г. А., Коробейникова О. В. Влияние химического состава и температуры металлов на эффективность электромагнитно-акустического преобразования // Дефектоскопия. 2009. № 4. С. 41—49.
6. Сучков Г. М., Хащина С. В., Петрищев О. Н. Развитие концепций создания ультразвуковых преобразователей электромагнитного типа. Ч. 1. Режим возбуждения // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. 2012. № 1. С. 23—28.
7. Сучков Г. М., Петрищев О. Н., Хащина С. В., Десятниченко А. В., Ноздрачева Е. Л. Повышение возможностей бесконтактной дефектоскопии поверхности катаных ферромагнитных металлоизделий // Контроль. Диагностика. 2013. № 4. С. 31—35.
8. Муравьев В. В., Муравьева О. В., Стрижак В. А., Волкова Л. В., Балобанов Е. Н. Акустическая тензометрия и структуроскопия железнодорожных колес. Ижевск: ИЖГТУ имени М.Т. Калашникова, 2014. 180 с.
9. Гобов Ю. Л., Михайлов А. В., Смородинский Я. Г. Намагничивающая система для ЭМА-сканера-дефектоскопа // Дефектоскопия. 2014. № 11. С. 48—56.
10. Михайлов А. В., Гобов Ю. Л., Смородинский Я. Г., Щербинин С. В. Электромагнитно-акустический преобразователь с импульсным подмагничиванием // Дефектоскопия. 2015. № 8. С. 14—23.
11. Муравьев В. В., Стрижак В. А., Хасанов Р. Р. Особенности программного обеспечения аппаратного комплекса для акустической тензометрии и структуроскопии металлоизделий // Интеллектуальные системы в производстве. 2016. № 2 (29). С. 71—75.
12. Стрижак В. А., Пряхин А. В., Обухов С. А., Ефремов А. Б. Информационно-измерительная система возбуждения, приема, регистрации и обработки сигналов электромагнитно-акустических преобразователей // Интеллектуальные системы в производстве. 2011. № 1. С. 243—250.
13. Муравьева О. В., Муравьев В. В., Стрижак В. А., Кокорина Е. Н., Лойферман М. А. Реальная чувствительность входного акустического контроля прутков заготовок при производстве пружин // В мире неразрушающего контроля. 2013. № 1. С. 52—60.
14. Муравьева О. В., Муравьев В. В., Габбасова М. А. Вероятностно-статистические параметры сигнала при контроле цилиндрических объектов зеркально-теневым методом многократных отражений // Дефектоскопия. 2015. № 12. С. 11—19.
15. Муравьева О. В., Петров К. В., Соков М. Ю., Габбасова М. А. Моделирование и исследование процесса распространения акустических волн, излучаемых проходным электромагнитно-акустическим преобразователем, по эллиптическому сечению прутка // Дефектоскопия. 2015. № 7. С. 17—23.
16. Ермолов И. Н., Ланге Ю. В. Неразрушающий контроль: Справочник: в 7 т. / Под общ. ред. В. В. Клюева. Т. 3. Ультразвуковой контроль. М.: Машиностроение, 2004. 864 с.
17. Евлампиев А. И., Попов Е. Д., Сажин С. Г., Федосенко Ю. К., Герасимов В. Г., Покровский А. Д., Останин Ю. Я. Неразрушающий контроль: Справочник в 8 т. / Под общ. ред. В. В. Клюева. Т. 2. Кн. 2. Вихретоковый контроль. М.: Машиностроение, 2006. 688 с.

Сведения об авторах**Виктор Анатольевич Стрижак** —

канд. техн. наук, доцент; Ижевский государственный технический университет им. М. Т. Калашникова, кафедра приборов и методов измерения, контроля, диагностики; E-mail: str@istu.ru

- Андрей Васильевич Пряхин** — Ижевский государственный технический университет им. М. Т. Калашникова, кафедра приборов и методов измерения, контроля, диагностики; заведующий лабораторией; E-mail: 1814NRT@mail.ru
- Роберт Расилевич Хасанов** — Ижевский государственный технический университет им. М. Т. Калашникова, кафедра приборов и методов измерения, контроля, диагностики; ведущий инженер; E-mail: beif@mail.ru
- Андрей Борисович Ефремов** — Ижевский государственный технический университет им. М. Т. Калашникова, кафедра приборов и методов измерения, контроля, диагностики; инженер-программист; E-mail: rushaggy@gmail.com

Рекомендована кафедрой
приборов и методов измерения,
контроля, диагностики

Поступила в редакцию
27.03.17 г.

Ссылка для цитирования: Стрижак В. А., Пряхин А. В., Хасанов Р. Р., Ефремов А. Б. Аппаратно-программный комплекс контроля прутков зеркально-теневым методом на многократных отражениях // Изв. вузов. Приборостроение. 2017. Т. 60, № 6. С. 565—571.

HARDWARE-SOFTWARE COMPLEX FOR RODS CONTROL BY MIRROR-SHADOW METHOD USING MULTIPLE REFLECTIONS

V. A. Strizhak, A. V. Pryakhin, R. R. Khasanov, A. B. Efremov

Kalashnikov Izhevsk State Technical University,
426069, Izhevsk, Russia
E-mail: str@istu.ru

A hardware-software complex for rods control is developed. The complex performance is investigated in various hardware configurations that implements the mirror-shadow method of non-destructive control with the use of multiple reflections on the passing electromagnetic-acoustic transducer. The scanning speed is measured at various parameters of the object under control. The influence of component characteristics on the performance of the complex is estimated. The possibility of a compromise between the maximum possible scanning speed of the rod, the length of the acoustic path, and the size of the recorded echograms is demonstrated based on the balance between the computer performance and registration system capacity. The developed system may be used for solving several problems of structural analysis, thickness gauging, and flaw detection by EMA method.

Keywords: performance, mirror-shadow method using multiple reflections, scanning, Hardware-software complex

Data on authors

- Viktor A. Strizhak** — PhD, Associate Professor; Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Department of Quality Control Instruments and Techniques; E-mail: str@istu.ru
- Andrey V. Pryakhin** — Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Department of Quality Control Instruments and Techniques; Head of Laboratory; E-mail: 1814NRT@mail.ru
- Robert R. Khasanov** — Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Department of Quality Control Instruments and Techniques; Leading Engineer; E-mail: beif@mail.ru
- Andrey B. Efremov** — Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Department of Quality Control Instruments and Techniques; Engineer-Programmer; E-mail: rushaggy@gmail.com

For citation: Strizhak V. A., Pryakhin A. V., Khasanov R. R., Efremov A. B. Hardware-software complex for rods control by mirror-shadow method using multiple reflections. *Journal of Instrument Engineering*. 2017. Vol. 60, N 6. P. 565—571 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2017-60-6-565-571