

ПОВЫШЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РЕНТГЕНТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ

А. В. ТЕРЛЕЦКИЙ, С. Н. ДАВИДЕНКО, А. А. СУШКО, Н. Г. БЕЛЫЙ

Представлен цифровой метод аппаратной обработки теневого рентгеновского изображения контролируемого изделия, реализующий фильтрацию нестационарных шумов рентгенотелевизионного канала и, как следствие, позволяющий повысить в 1,5...2 раза чувствительность рентгенотелевизионного контроля качества изделий. Алгоритм обработки рентгенотелевизионного изображения, реализуемый на аппаратном уровне видеопроцессором VP-063, автоматически определяет необходимую длительность экспозиции теневого рентгеновского изображения в зависимости от мощности дозы на входе детектора рентгеновского излучения, что обеспечивает нормирование по плотности рентгенограмм контролируемых изделий.

The paper presents a digital method of hardware processing of a shadow X-ray image of the controlled product, realizing filtration of non-stationary noises in the X-ray TV channel, and, as a consequence, allowing 1.5...2 times increase of the sensitivity of X-ray TV inspection of product quality. The algorithm of processing the quality of X-ray TV image realized on the hardware level by VP-063 vide processor, automatically determines the required duration of exposure of the shadow X-ray TV image, depending on the dose rate at the input of X-ray radiation detector, thus ensuring norming of the density of the controlled product radiographs.

Современные технологические процессы изготовления продукции машиностроения в большинстве случаев сопровождаются использованием различных способов сварки. Даже при хорошо отработанной технологии сварки возможны различного рода дефекты, приводящие к снижению надежности и долговечности изделий. Одной из основных задач промышленного производства продукции машиностроения является повышение качества выпускаемых изделий и обеспечение их эффективного функционирования в процессе эксплуатации. В условиях крупносерийного или массового производства, например, при производстве сварных труб, баллонов, цистерн и т. п. для контроля качества изделий обычно применяют рентгенотелевизионные дефектоскопические установки (РТДУ). Наиболее важными параметрами РТДУ является контрастная чувствительность, разрешающая способность, а также градационные характеристики рентгенотелевизионного канала, определяющие способность системы регистрировать минимальные перепады яркости малоконтрастных теневых рентгеновских изображений. Именно эти параметры и характеристики РТДУ достаточно жестко определены современными европейскими стандартами на аппаратуру данного типа. В настоящее время такие же стандарты вводятся и в Украине.

Для рентгенотелевизионных дефектоскопических систем контроля изделий характерен высокий уровень шума, обусловленный флуктуациями рентгеновских квантов на входе детектора рентгено-

вского излучения. Уровень шумов рентгеновских квантов может превышать в несколько раз уровень полезного сигнала. Кроме того, датчик телевизионного сигнала также вносит в рентгенотелевизионное изображение свою шумовую составляющую. И чем меньше освещенность на входном окне сенсора оптического изображения, тем больше эта шумовая составляющая рентгенотелевизионного сигнала. Поэтому на экране телевизионного монитора теньовое рентгеновское изображение контролируемого объекта воспроизводится на фоне явно выраженных флуктуационных шумов рентгенотелевизионного канала, что существенно снижает качество и информативность рентгенотелевизионного изображения, его разрешающую способность и контрастную чувствительность. Кроме того, шумовая составляющая рентгенотелевизионного изображения сильно утомляет зрение оператора, что также снижает эффективность и производительность рентгенотелевизионного контроля.

Одним из путей повышения чувствительности рентгенотелевизионных систем дефектоскопического контроля качества изделий является применение эффективных методов и средств фильтрации шумов рентгенотелевизионного канала. Шумы рентгеновских квантов имеют нестационарный характер, что позволяет эффективно бороться с ними путем накопления теневого рентгеновского изображения в течение заданного времени экспозиции. Нестационарные рентгеновские шумы интегрируются во времени, а полезный сиг-

нал накапливается пропорционально длительности экспозиции. Именно это позволяет получить качественные рентгенограммы на рентгеновской пленке. Этот же метод накопления теневого рентгеновского изображения может быть реализован в рентгенотелевизионных дефектоскопических системах, в которых датчик телевизионного сигнала работает в режиме регулируемой экспозиции [1, 2]. Накопление теневого рентгеновского изображения на фоточувствительном сенсоре изображения осуществляется так же, как и на рентгеновской пленке в аналоговом виде. Накопленный сигнал считывается за один кадр, запоминается в оперативном запоминающем устройстве (ОЗУ) и выводится на экран телевизионного монитора [2, 3]. При этом шумы квантов рентгеновского излучения усредняются, повышается качество изображения на экране телевизионного монитора и достигается значительное повышение чувствительности дефектоскопического контроля изделий. Однако реализация такого метода повышения чувствительности контроля требует применения специализированной телевизионной системы, реализующей алгоритм работы с регулируемой экспозицией теневого рентгеновского изображения. Кроме того, режим аналогового накопления оптического сигнала на фоточувствительном сенсоре изображения, как, впрочем, и для рентгеновской пленки, требует прецизионной установки мощности экспозиционной дозы рентгеновского излучения для определенной толщины контролируемого изделия и выбранной длительности экспозиции, что существенно усложняет процесс дефектоскопического контроля изделий и снижает его производительность. Поэтому для повышения чувствительности РТДУ метод накопления теневого рентгеновского изображения в аналоговом виде на фоточувствительной мишени сенсора изображения широкого применения не нашел.

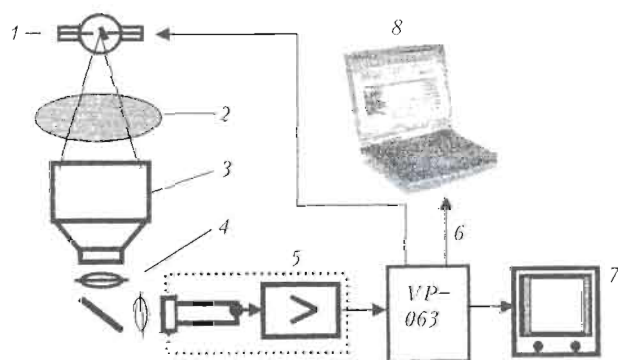


Рис. 1. Схема подключения видеопроцессора в составе оборудования РТДУ: 1 — источник рентгеновского излучения; 2 — контролируемый объект; 3 — рентгенооптический преобразователь; 4 — объект; 5 — телевизионная передающая камера; 6 — видеопроцессор; 7 — телевизионный монитор; 8 — компьютер обработки и архивирования рентгенограмм

Решить все противоречия и неудобства этого эффективного метода фильтрации шумов рентгенотелевизионного канала дефектоскопических установок удалось с помощью цифровой обработки рентгенотелевизионного сигнала [4]. На кафедре электронных приборов и устройств Национального технического университета Украины (КПИ) разработан видеопроцессор VP-063, позволяющий не только реализовать в цифровом виде алгоритмы интегрирования рентгенотелевизионного изображения, но и автоматизировать выбор длительности регулируемой экспозиции теневого рентгеновского изображения в зависимости от мощности рентгеновского излучения на входе детектора толщины и типа материала контролируемого изделия. Это существенно упростило реализацию рассмотренного метода повышения чувствительности рентгенотелевизионного контроля качества изделий и сделало его пригодным для применения в условиях промышленного производства.

На рис. 1 представлена структурная схема РТДУ, в состав которой включен видеопроцессор VP-063. Телевизионный видеосигнал поступает на вход видеопроцессора, который реализует в цифровом виде на аппаратном уровне алгоритмы обработки рентгенотелевизионного изображения в процессе контроля изделия. Видеопроцессор реализует два основных режима обработки рентгенотелевизионного изображения. Первый предназначен для просмотра динамических фрагментов рентгенотелевизионного изображения, а также используется при позиционировании контролируемого изделия относительно детектора рентгеновского излучения. В этом режиме входной видеосигнал автоматически нормируется по амплитуде и уровню и передается на видеоконтрольное устройство без интегрирования. Второй режим работы реализует алгоритм цифровой регулируемой экспозиции теневого рентгеновского изображения контролируемого изделия [5]. Этот режим предназначен для обработки рентгенотелевизионного изображения контролируемого изделия, которое находится в статическом положении. Интегрирование рентгенотелевизионного сигнала практически полностью убирает нестационарные шумы рентгенотелевизионного канала и обеспечивает повышение чувствительности рентгенотелевизионного контроля. При этом микропроцессорная система управления контролирует процесс интегрирования и автоматически определяет оптимальную для текущих условий контроля длительность экспозиции.

На рис. 2 представлена структурная схема видеопроцессора VP-063, которая включает систему синхронизации, аналоговый сигнальный процессор (АСП) входного сигнала; цифровой сигнальный процессор (ЦСП); цифро-аналоговый преоб-

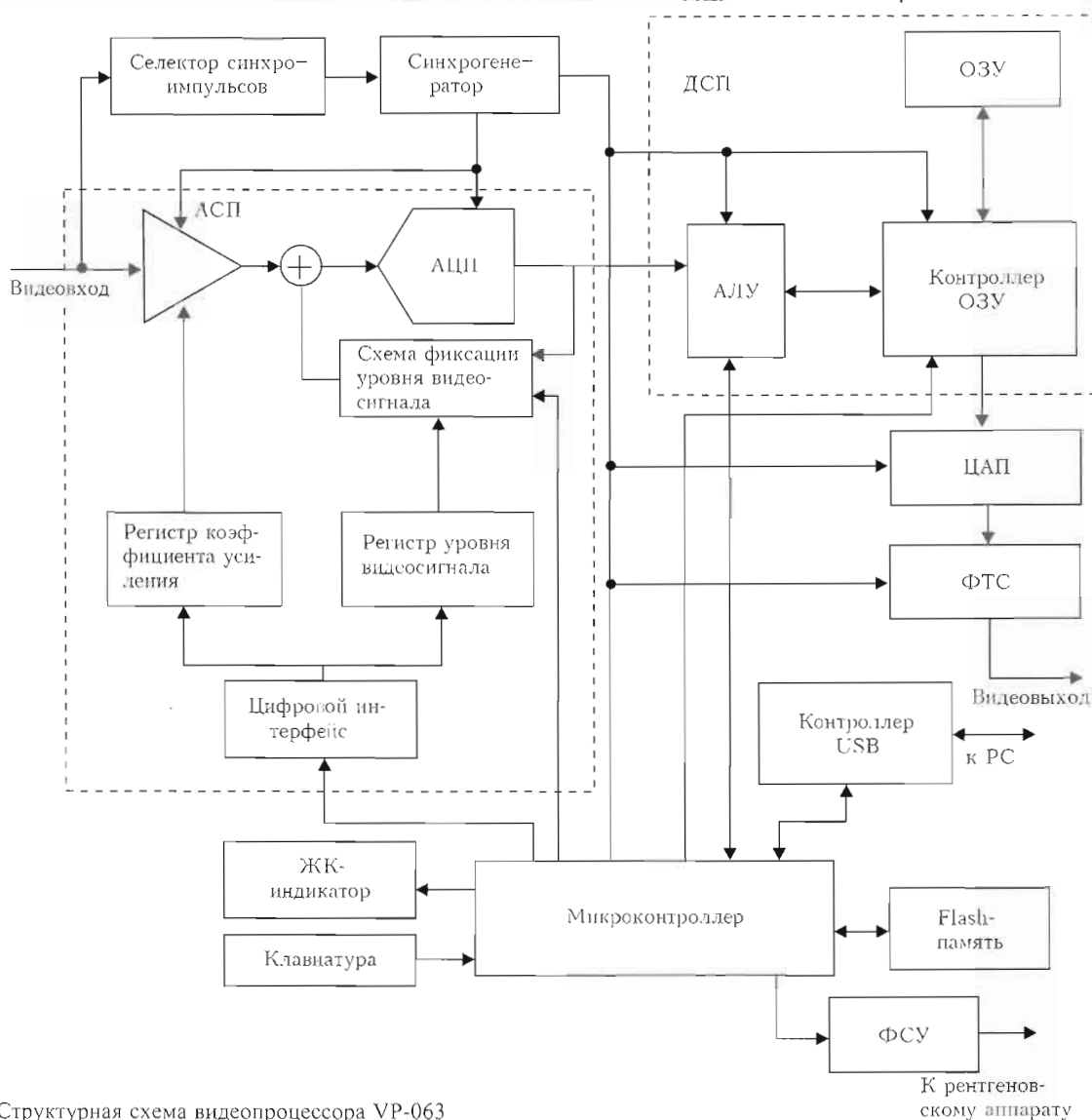


Рис. 2. Структурная схема видеопроцессора VP-063

разователь (ЦАП); формирователь выходного композитного телевизионного сигнала (ФТС) и микропроцессорную систему управления. Последняя реализует основные режимы работы устройства, а также решает задачи, связанные с нормированием входного телевизионного сигнала и определением оптимальной длительности накопления.

АСП обеспечивает оптимальное согласование уровня и амплитуды входного видеосигнала с динамическим диапазоном двенадцатирядного аналого-цифрового преобразователя. Он включает видеосуилитель с программируемым коэффициентом усиления, схему фиксации уровня сигнала на входе АЦП и управляющие регистры, связанные с управляющим контроллером через стандартный последовательный интерфейс. Контроллер определяет параметры видеосигнала, поступающего на вход ДСП, сравнивает их с граничными значениями динамического диапазона АЦП, определяет необходимое значение коэффициента усиления и уровня фиксации видеосигнала и за-

ружает эти параметры в управляющие регистры АСП. При этом входной видеосигнал автоматически вписывается в динамический диапазон АЦП, что и обеспечивает его оптимальное преобразование в цифровую форму.

Цифровой сигнальный процессор (ЦСП) содержит арифметическое логическое устройство (АЛУ), контроллер ОЗУ и двухбанковое ОЗУ, в котором собственно и осуществляется цифровое интегрирование рентгеновского телевизионного изображения. Функциональные блоки АЛУ и контроллер оперативной памяти выполнены на основе программируемой логической интегральной схемы, что обеспечило возможность реализации алгоритма цифровой обработки телевизионного видеосигнала в реальном времени. Алгоритм интегрирования рентгеновского телевизионного изображения осуществляется путем накопления кадров рентгеновского телевизионного изображения в ОЗУ. Процесс накопления контролируется микропроцессорной системой управления. После окончания процесса интегрирования обработанное изображение из



ОЗУ через десятиразрядный ЦАП и ФТС подается на вход штатного видеоконтрольного устройства рентгенотелевизионной установки. Обработанное рентгенотелевизионное изображение сохраняется в ОЗУ до начала следующего цикла интегрирования, который инициализируется нажатием соответствующей кнопки управления. Это позволяет при выключенном источнике рентгеновского излучения сохранять на экране телевизионного монитора рентгенотелевизионное изображение контролируемого объекта.

Видеопроцессор обеспечивает постоянный уровень выходного сигнала независимо от уровня и амплитуды входного сигнала, что позволяет варьировать в широких пределах мощность дозы рентгеновского излучения на входе детектора и коэффициент усиления входных цепей АСП. При этом будет изменяться только длительность экспозиции рентгенотелевизионного изображения, а уровень выходного сигнала видеопроцессора будет неизменный, оптимально вписанный в динамический диапазон телевизионного монитора. Длительность интегрирования рентгенотелевизионного сигнала может находиться в диапазоне от 16 до 512 кадров, что обеспечивает достаточно эффективную фильтрацию шумов рентгенотелевизионного канала дефектоскопической установки. Таким образом, оператору не нужно решать сложные задачи, связанные с определением длительности экспозиции, подбором мощности дозы рентгеновского излучения для контролируемого изделия. Процессор сам согласует параметры интегрирования рентгеновского изображения и выдает нормированный по уровню и амплитуде видеосигнал без характерных для рентгеноскопии нестационарных шумов рентгенотелевизионного канала. В результате достигается существенное повышение качества рентгенотелевизионного изображения, улучшаются условия анализа контролируемого изделия, что, в свою очередь, приводит к существенному повышению чувствительности и производительности радиационного контроля качества изделий.

При перемещении контролируемого изделия относительно детектора рентгеновского излучения видеопроцессор переводится в режим прямого канала передачи данных. В этом режиме работы микропроцессор анализирует параметры входного видеосигнала, определяет необходимую степень коррекции амплитуды и уровня входного сигнала и записывает соответствующие значения коэффициента усиления и фиксации уровня видеосигнала в регистры управления АСП. С выхода АСП нормированные видеоданные уже без накопления в АСП передаются через ЦАП и ФТС на выход видеопроцессора. В результате на экране телевизионного монитора оператор наблюдает нормированное по динамическому диапазону телевизион-

ного индикаторного устройства рентгенотелевизионное изображение контролируемого изделия. Инициализация режима прямого канала осуществляется путем нажатия кнопки на панели управления видеопроцессора. Коэффициент усиления АСП отображается на экране жидкокристаллического дисплея.

В данном устройстве использован двенадцатиразрядный АЦП. С точки зрения отображения рентгенотелевизионного изображения на экране телевизионного монитора это может показаться излишним. Ведь оператор не сможет различить на экране телевизионного монитора даже 0,1%-й перепад яркости рентгенотелевизионного изображения. Однако для обработки последнего аппаратными средствами видеопроцессора двенадцатиразрядное представление данных яркости исходного рентгенотелевизионного изображения дает весьма существенный эффект. Реализуемый уровень квантования определяет величину или степень потери информации при аналого-цифровом преобразовании аналогового видеосигнала исходного рентгенотелевизионного изображения. Чем меньше уровень квантования, тем больше информации сохраняется при преобразовании видеосигнала в цифровую форму и тем в большей степени цифровое рентгенотелевизионное изображение может быть по качеству приближено к качеству рентгенограммы на рентгеновской пленке. Это оказывается очень важным и для реализации режима накопления рентгенотелевизионного изображения в цифровой форме, а также проявляется при последующей компьютерной обработке цифровой рентгенограммы.

Видеопроцессор VP-063 имеет выход для управления работой рентгеновским аппаратом. При накоплении теневого рентгеновского изображения микропроцессорная система управления формирует управляющий сигнал для рентгеновского аппарата, который по длительности соответствует определенному времени экспозиции теневого рентгеновского изображения на входе детектора рентгеновского излучения. Этот сигнал через блок формирования сигнала управления (ФСУ) подается на управляющий вход рентгеновского аппарата и обеспечивает его включение только на время экспозиции теневого рентгеновского изображения контролируемого изделия. После окончания времени интегрирования рентгеновский аппарат выключается, а видеопроцессор переходит в режим чтения обработанного и внесенного в память рентгенотелевизионного изображения контролируемого объекта, которое при выключенном источнике рентгеновского излучения воспроизводится на экране телевизионного монитора. Таким образом, включение видеопроцессора VP-063 в состав рентгенотелевизионной установки позволяет в 2...3 раза увеличить ее срок службы и су-

шественно сократить энергозатраты на проведение контроля.

Данное устройство имеет встроенный USB — интерфейс для ввода рентгенограммы контролируемого изделия в среду персонального компьютера (PC). Инициализация этого режима работы видеопроцессора осуществляется через графический интерфейс специального программного обеспечения «Diracop-S01» [5], которое устанавливается на персональный компьютер стандартной конфигурации. Взаимодействие видеопроцессора со специальным программным обеспечением реализуется посредством стандартного USB-драйвера операционной системы семейства Windows. Эта функция видеопроцессора открывает возможность реализации современных компьютерных технологий для обработки и архивирования рентгенограмм, а также обеспечивает возможность реализации автоматизированных баз данных рентгенотелевизионного контроля качества изделий. Видеопроцессор может поставляться с программным обеспечением «Diracop-S01» для компьютерной обработки и архивирования рентгенограмм.

Внешний вид видеопроцессора VP-063 представлен на рис. 3.



Рис. 3. Видеопроцессор VP-063

ных рентгенотелевизионных установок (см. рис. 1), что обеспечивает возможность модернизации действующего парка рентгенотелевизионной аппаратуры данного типа.

Модернизация рентгенотелевизионной установки путем включения в ее состав видеопроцессора не требует никаких дополнительных переделок штатного рентгенотелевизионного канала, так как входные цепи видеопроцессора VP-063 рассчитаны на подключение стандартного композитного телевизионного сигнала рентгенотелевизионной установки, а на выходе видеопроцессора после обработки формируется такой же композитный телевизионный видеосигнал. Это обеспечивает возможность вывода обработанного рентгенотелевизионного изображения контролируемого изделия на штатный телевизионный монитор рентгенотелевизионной установки.

Опытный образец видеопроцессора прошел предварительные испытания в составе рентгенотелевизионной установки, в которой в качестве детектора теневого рентгеновского изображения использовался РЭОП с телевизионной камерой на основе ПЗС-сенсора изображения. Без цифровой обработки рентгенотелевизионного изображения рентгенотелевизионная установка по алюминию толщиной 20 мм обеспечивала чувствительность контроля 2,5 % (канавочный дефектометр АН). При этом изображение сварного шва и дефектометра наблюдали на фоне шумов рентгенотелевизионного канала, которые значительно превосходили по уровню полезный сигнал. Обработка рентгенотелевизионного сигнала видеопроцессором позволила практически полностью убрать с изображения нестационарные шумы рентгенотелевизионного канала и получить при тех же условиях контроля чувствительность контроля 1,0 %, что уже вплотную приближается к чувствительности контроля с использованием рентгеновской пленки.

В заключение можно отметить, что представленный видеопроцессор, реализующий алгоритм цифровой аппаратной обработки рентгенотелевизионного изображения в реальном времени путем интегрирования рентгенотелевизионного изображения в течение регулируемого времени экспозиции, позволяет достаточно просто модернизи-

Краткая техническая характеристика устройства

Амплитуда входного композитного телевизионного видеосигнала, В	.....1
Амплитуда выходного композитного телевизионного видеосигнала, В	.....1
Аналого-цифровое преобразование входного рентгенотелевизионного сигнала, бит	.....12
Цифро-аналоговое преобразование выходного сигнала, бит	.....10
Память	.....1М×16
Формат кадра	.....800×600
Входной усилитель видеосигнала с программируемым коэффициентом усиления	.....1...25
Количество кадров накопления	.....16...512
Инверсия рентгенотелевизионного изображения (позитив-негатив)	
Автоматическое нормирование входного видеосигнала по динамическому диапазону АЦП	
Микропроцессорное управление режимами работы устройства	
Четыре программируемых режима работы устройства: прямой канал и три режима накопления рентгенотелевизионного сигнала	
Автоматическое нормирование выходного сигнала	
Встроенная Flash-память, рентгенограмм	.....2000
Стандартный USB-интерфейс для ввода рентгенограммы в среду персонального компьютера	
Формирование сигнала управления рентгеновским аппаратом	
Индикация параметров и режимов обработки рентгенотелевизионного изображения с помощью жидкокристаллического дисплея	
Размеры устройства, мм	.....100×170×30
Напряжение питания, В	.....5
Ток потребления, мА	.....450

Видеопроцессор VP-063 может эффективно работать в составе как стационарных, так и мобиль-



ровать широкий парк действующих рентгенотелевизионных установок с целью повышения качества рентгенотелевизионного изображения и чувствительности контроля качества изделия. Кроме того, весьма полезным является запоминание обработанного кадра рентгенотелевизионного изображения контролируемого объекта. При этом дефектоскопист может проводить анализ рентгеновского изображения контролируемого изделия при выключенном источнике рентгеновского излучения. Это позволяет существенно снизить затраты на рентгенотелевизионный контроль и продлить срок службы оборудования РТДУ. Возможность передачи рентгенотелевизионного изображения контролируемого объекта из Flash-памяти в среду персонального компьютера через стандартный USB-порт позволяет реализовать компьютерные технологии обработки и автоматизированной расшифровки рентгенограмм, а также обеспечивает

возможность создания и ведения автоматизированной базы данных радиационного контроля качества изделий.

1. Денбновецкий С. В., Лещинин А. В., Михайлов С. Р. Высокочувствительные рентгенотелевизионные системы неразрушающего контроля на основе электронно-лучевых приборов // Электроника и связь. — 2005. — Тем. вып. «Проблемы электроники». — Ч.1. — С. 72–81.
2. А. с. 1543568 СССР, МКИ ЖШ 5/225, 5/30. Телевизионная камера / С. В. Денбновецкий, А. В. Терлецкий, А. В. Лещинин и др. — Оpubл. 15.02.90, Бюл. № 6.
3. А. с. 1300659 СССР, МКИ Н04И 5/76. Устройство для накопления телевизионного сигнала / С. В. Денбновецкий, А. В. Терлецкий, А. В. Лещинин и др. — Оpubл. 30.03.87, Бюл. № 12.
4. Терлецкий А. В., Давиденко С. Н., Сушко А. А. Цифровая реализация регулируемой экспозиции рентгенотелевизионного изображения // Электроника и связь. — 2006. — Тем. вып. «Проблемы электроники». — Ч.1. — С. 65–68.
5. <http://www.dilab.kiev.ua>

Нац. техн. ун-т Украины «КПИ», Киев
Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, Киев

Поступила в редакцию
25.10.2007

Art2008
9th International Conference

**9-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«НЕРАЗРУШАЮЩИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И МИКРОАНАЛИЗ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ
И СОХРАНЕНИЯ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ»**

ART2008

25–30 мая 2008 г. Иерусалим, Израиль

Израильское общество по неразрушающему контролю приглашает ученых, пользователей, производителей и сервисные компании, работающие во всех областях НК, принять участие в 9-й Международной конференции по исследованиям в области сохранения культурного наследия.

Конференция будет включать пленарные, секционные и стендовые доклады, в том числе по следующей тематике:

- ✓ Методы измерения и оценки вредного воздействия окружающей среды и процессов разрушения (в т. ч. вызванных коррозией)
- ✓ Аналитические методы исследований (дифракционная техника, радиография, томография, флуоресцентная спектроскопия и др.)
- ✓ Разработка и эффективность новых защитных покрытий

Использование неразрушающих методов в промышленности и медицине уже давно стало обычной практикой. С развитием технологий методы НК находят свое применение в искусстве и археологии для проведения анализа исторических и археологических памятников. С повышением чувствительности и надежности методы НК вытесняют методы микроанализа даже в тех случаях, где его применение разрешено. Сотрудничество и обмен знаниями среди экспертов на таких конференциях ведут к непрерывному совершенствованию новых научных методов и способствуют их применению в области сохранения, реконструкции и диагностики музейных и археологических объектов.

Информация на сайте <http://www.isas.co.il/art2008> или непосредственно в оргкомитете конференции по e-mail: meetings@isas.co.il

Украинское общество НКТД планирует организацию поездки делегации украинских специалистов на конференцию.

Заявки на участие в поездке просим направлять до 01.03.2008 г. в секретариат УО НКТД (e-mail: usndt@u.kr.net, факс: (044) 289-21-66).