

i dr. // Zarubezhnaja radioelektronika. – 1987. – №12. – P. 78-92.

9. Poluprovodnikovye pribory. SVCh diody. Spravochnik [Tekst]/ pod red. B.A. Nalivajko. – Tomsk, MGP «RASKO», 1992.

10. Spravochnik po raschetu i konstruirovaniyu mikropoloskovykh ustrojstv [Tekst]/ pod red. V.I. Vol'mana. – M.: Radio i svjaz', 1982. – 328 p.

11. *Bushminskij I.P.* Tehnologija gibridnyh integral'nyh shem SVCh. Uchebnoe posobie [Tekst]/ I.P. Bushminskij, G.V. Morozov. – M.: Vysshaja shkola, 1980. – 285 p.

12. *Krasov V.G.* Tolstoplenochnaja tehnologija v SVCh mikroelektronike [Tekst]/ V.G. Krasov, G.B. Petrauskas, Ju.S. Chernozubov. – M.: Radio i svjaz', 1985. – 168 p.

13. Spravochnik po jelementam poloskovoj tehniki [Tekst]/ pod red. A.L. Fel'dshtejna. – M.: Svjaz', 1979 – 336 p.

14. *Grachev A.A.* Konstruirovanie jelektronnoj apparatury na osnove poverhnostnogo montazha

komponentov [Tekst]/ A.A. Grachev, A.A. Mel'nik, L.I. Panov. – M.: NT-Press, 2006. – 384 p.

15. *Dzhurinskij K.B.* Miniaturnye koaksial'nye radiokomponenty dlja mikroelektroniki SVCh [Tekst]/ K.B. Dzhurinskij. – M.: Tehnosfera, 2006. – 216 p.

16. Generator signalov E8267D. Tehnicheskoe opisanie [Tekst]. – Agilent Technologies.

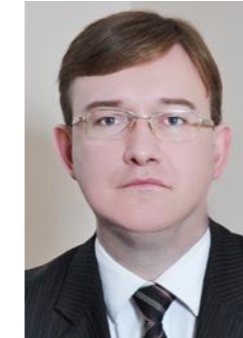
17. Oscillograf TPS2012. Tehnicheskoe opisanie [Tekst]. – Tektronix.

18. Metody i sredstva identifikacii istochnikov radioizlucheniya [Tekst]/ pod red. A.A. Zori. – Doneck: GVUZ «DonGTU», 2010. – 345 p.

19. *Kuprijanov A.I., Petrenko P.B., Sychev M.P.* Teoreticheskie osnovy radioelektronnoj razvedki [Tekst]/ A.I. Kuprijanov, P.B. Petrenko, M.P. Sychev. – M.: MGTU im N.Je. Baumana, 2010. – 381 p.

20. Modeli prostranstvennogo i chastotnogo poiska [Tekst]/ pod red. Ju.L. Kozirackogo. – M.: Radiotekhnika, 2013. – 344 s.

## МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО- ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА METROLOGY AND INFORMATION-MEASURING DEVICES



**Федосов А. В.**  
**Fedosov A.V.**

кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Промышленная  
безопасность и охрана труда»  
ФГБОУ ВО «Уфимского государ-  
ственного технического  
нефтяного университета»,  
Россия, г. Уфа



**Федосов В. А.**  
**Fedosov V.A.**

кандидат технических  
наук, доцент кафедры  
«Технологические машины  
и прикладная физика»  
ФГБОУ ВО «Уфимского государ-  
ственного технического  
нефтяного университета»,  
Россия, г. Уфа



**Шаймухаметов Э.Ф.**  
**Shaimukhametov E.F.**  
студент, ФГБОУ ВО

«Уфимского государственного  
технического нефтяного  
университета»,  
Россия, г. Уфа

УДК 622.69-049.5

### СОВРЕМЕННЫЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЭКСПЕРТИЗЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ НА ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

На сегодняшний день развитие средств измерений и контроля идет в направлениях повышения точности измерений, уменьшения габаритных размеров и массы приборов, снижения измерительных усилий приборов, а также применения новых методов измерений.

Качественное проведение экспертизы промышленной безопасности технических устройств, применяемые на опасном производственном объекте (ОПО) с использованием современных средств измерения позволяет своевременно обнаружить дефекты и повреждения, способные в последствии привести к аварийным ситуациям, а также обеспечить безопасность технологических процессов промышленных предприятий.

Анализ потребности рынка средств измерения при проведении экспертизы промышленной безопасности показывает, что современные приборы и средства измерения могут существенно улучшить эффективность проведения технического диагностирования технических устройств, применяемые на опасном производственном объекте и повысить возможности для точного и оперативного решения как для стандартных задач, так и для сложных случаев диагностики, что приводит к уменьшению риска возникновения аварийных ситуаций на ОПО.

В данной статье, приведены современные средства измерения, применяемые при проведении экспертизы промышленной безопасности трубопроводов на ОПО.

**Ключевые слова:** средства измерений, экспертиза промышленной безопасности, опасный производственный объект, современные приборы, дефектоскоп, тощиномер, ультразвуковые методы, неразрушающий контроль, трубопровод, диагностика.

## THE MODERN GAGES APPLIED AT EXPERTISE OF INDUSTRIAL SAFETY OF TECHNICAL DEVICES ON HAZARDOUS PRODUCTION FACILITIES

Today development of measuring instruments and monitoring goes in the directions of increase of accuracy of measurements, decreases of overall dimensions and mass of devices, decrease in measuring efforts of devices, and also applications of new methods of measurements.

High-quality expertize of industrial safety of technical devices, applied on hazardous production facility with use of the modern gages allows to find in due time defects and to bring the damages capable to a consequence to contingency situations, and also to ensure safety of technological processes of the production enterprises.

The analysis of requirement of the market of gages at expertize of industrial safety shows that the modern devices and gages can significantly improve effectiveness of carrying out technical diagnosing of technical devices, applied on hazardous production facility and to raise opportunities for the precise and operational decision both for reference tasks, and for the composite cases of diagnostics that leads to decrease of risk of emergence of contingency situations on hazardous production facilities.

In this article, the modern gages applied at expertize of industrial safety of pipelines on hazardous production facilities are given.

**Keywords:** measuring instruments, examination of the production safety, hazardous production facility, the modern devices, defectoscope, toshchinomer, ultrasonic methods, non-destructive monitoring, pipeline, diagnostics.

На сегодняшний день развитие средств измерений и контроля идет в направлениях повышения точности измерений, уменьшения габаритных размеров и массы приборов, снижения измерительных усилий приборов, а также применения новых методов измерений [1].

Качественное проведение экспертизы промышленной безопасности (далее – ЭПБ) технических устройств, применяемые на опасном производственном объекте с использованием современных средств измерения позволяет своевременно обнаружить дефекты и повреждения, способные в последствии привести к аварийным ситуациям, а также обеспечить безопасность технологических процессов промышленных предприятий [2]. На примере, разберем современные средства измерения, применяемые при проведении экспертизы промышленной безопасности трубопроводов на ОПО.

При проведении ЭПБ трубопровода, на этапе проведения технического диагностирования проводятся:

- работы по визуальному и измерительному контролю;
- работы по ультразвуковой толщинометрии и дефектоскопии;
- работы по замеру твердости;
- выполнение расчета на прочность.

Визуально-измерительный контроль (ВИК) осуществляется в форме наружного осмотра. Внутренние дефекты и повреждения стенки и сварных швов трубопровода, а также толщина стенки трубопроводов определяются неразрушающими (ультразвуковым, радиационным, магнитным, капиллярным и акустико-эмиссионным) методами.

Наиболее эффективным неразрушающим методом контроля качества трубопроводов является ультразвуковой метод, который позволяет выполнять весь комплекс работ по ультразвуковой диагностике трубопроводов, выявлять слабые места сварных швов, внутреннюю коррозию труб. При использовании этого метода исключаются традиционные погрешности, а также погрешности, обусловленные объемным распределением электромагнитно-динамических сил в поверхностном слое объекта контроля. Своевременное и плановое устранение разрушающихся участков трубопроводов позволит сэкономить на ремонте в чрезвычайных обстоятельствах [3].

В последнее время все большее внимание во всем мире уделяется повышению оперативности и достоверности контроля сварных стыков строящихся трубопроводов. Самым передовым словом техники в этом направлении можно считать применение ультразвуковых фазированных решеток.

Главным достоинством ультразвуковых фази-

рованных решеток можно считать возможность программного формирования диаграммы направленности ультразвукового блока, включая фокусировку, точку и угол ввода. Это позволяет, применяя один и тот же пьезоэлектрический преобразователь, реализовать все схемы контроля, применяемые в многоэлементных системах с линейным сканированием. Например, контроль прямым и однократно

отраженным лучом, схема тандем, и т.д.

Принцип работы современного ультразвукового дефектоскопа [4] можно представить на основе схемы (рис.1). Генератор синхронизирующих импульсов (ГСИ) через определенные промежутки времени вырабатывает импульсы, которые проходят через делитель частоты и запускают различные блоки прибора.

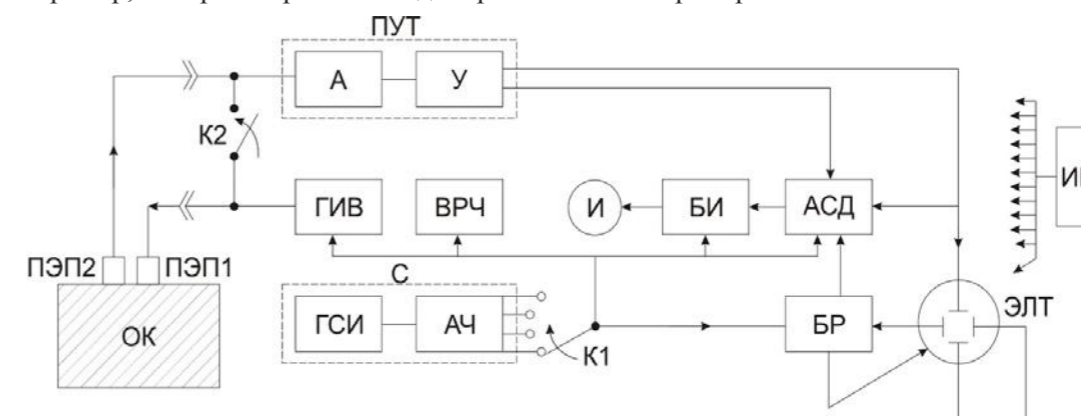


Рис.1. Функциональная схема ультразвукового дефектоскопа [9].

(С – синхронизатор, ГСИ – генератор синхронизирующих импульсов, ДЧ – делитель частоты, ГИВ – генератор импульсов возбуждения, ОК – объект контроля, А – аттенуатор, У – усилитель, ПУТ – приемно-усилительный тракт, ЭЛТ – электронно-лучевая трубка, К1-К2 – переключатели, Р1, Р2 – разъемы, ПЭП1-ПЭП2 – преобразователи, БР – блок развертки и подсветки, ВРЧ – временная регулировка чувствительности, АСД – блок автоматической сигнализации дефектов, БИ – блок измерений, И – индикатор, ИП – источник питания.)

Генератор импульсов возбуждения (ГИВ) вырабатывает короткий электрический импульс, который через разъем Р1 подается на пьезоэлемент ПЭП1. Вследствие обратного пьезоэлектрического эффекта пьезоэлемент ПЭП1 преобразовывает электрический импульс в упругое колебание, которое излучается в объект контроля (ОК) в виде УЗ волны. УЗ колебания, отраженные от противоположной поверхности объекта контроля или от дефектов, возвращаются к поверхности контроля. Вследствие явления прямого пьезоэлектрического эффекта упругое колебание пьезоэлементом ПЭП2 преобразуется в электрический импульс, который через разъем Р2 поступает на аттенуатор (А). Аттенуатор служит для калиброванного ослабления и измерения отношений (дБ) принятых сигналов. Далее сигнал усиливается и преобразовывается в блоке усилителя (У), а затем подается на вертикально-отклоняющую пластину электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) или на другой индикатор. Блок развертки (БР) вырабатывает пилообразные импульсы

и прямоугольные импульсы подсветки. Пилообразные импульсы подаются на горизонтально-отклоняющие пластины ЭЛТ. Напряжение подсветки обеспечивает испускание электронного пучка только на прямолинейном участке пилообразного напряжения.

Блок временной регулировки чувствительности (ВРЧ) позволяет скомпенсировать уменьшение эхосигналов с увеличением глубины, связанное с геометрическим расхождением пучка и затуханием звука в материале.

Блок автоматической сигнализации дефектов (АСД) предназначен для установления зоны контроля и формирования сигнала для подачи на звуковой, световой или другой сигнализатор при наличии эхо-импульсов в зоне контроля.

Блок измерений (БИ) предназначен для измерения координат дефектов с выдачей информации на индикатор (И), а также для измерения длительности задержки развертки, временных параметров АСД и системы ВРЧ

Источник питания (ИП) служит для преобразования питающего электрического напряжения и его распределения по блокам дефектоскопа [4].

В пример современной дефектоскопов можно привести цифровые ультразвуковые дефектоскопы серии ЕРОСН 1000 от Olympus – портативные прочные дефектоскопы, предлагающие, помимо традиционного ультразвукового контроля, поддержку фазированных решёток. Возможность одновременного сканирования под разными углами позволяет повысить эффективность контроля в целом. Отпадает



необходимость использования нескольких датчиков и призм. В данном дефектоскопе реализована поддержка датчиков на фазированных решётках, что позволяет проводить ультразвуковой контроль в соответствии с существующими нормативами и использовать преимущества фазированных решёток для повышения достоверности и эффективности контроля.

Основные особенности дефектоскопов ЕРОСН 1000 [5]:

- возможность подключения или уже подключенные фазированные решётки;
- соответствие нормам EN12668-1;
- более 30 цифровых фильтров;
- ЧЗИ 6 кГц для высокоскоростного сканирования;
- автоматическое распознавание датчика с ФР;
- интуитивная калибровка задержки в призме и

- усиления для всех законов фокусировки;
- программируемые аналоговые выходы и выходы сигнализации;
- соответствие стандарту IP для работы в жёстких условиях;
- горизонтальная ориентация корпуса, кнопки и ручка прокрутки в качестве элементов управления;
- цифровой приёмник с большим динамическим диапазоном;
- экран VGA, видимый при ярком солнечном свете;
- набор опций визуализаций для упрощения интерпретации А-скана;
- опорные и измерительные курсоры;
- стандартные динамические кривые DAC/ВРЧ;
- встроенные АРД-диаграммы.

Таблица 1

**Технические характеристики ЕРОСН 1000**

Генератор	
Тип генератора	Настраиваемый генератор прямоугольных импульсов
ЧЗИ	От 5 до 6 000 Гц, шаг 5 Гц
Напряжение генератора	От 50 до 475 В, шаг 25 В
Длительность импульса	От 30 до 10000 нс
Демпфирование	50, 100, 200, 400 Ом
Задержка генератора	Отсутствует
Приемник	
Коэффициент усиления	От 0 до 110 дБ
Входное полное сопротивление в приемнике	40 Ом ± 5%
Полоса пропускания приемника	0,2?26,5 МГц
Задержка приемника	Отсутствует
Цифровые фильтры	Стандартный набор фильтров ( для контроля согласно стандарту EN 12668-1): 7 фильтров; Расширенный набор фильтров ( не испытан на соответствие EN 12668-1)
Детектирование	Полное, однополупериодное положительное и отрицательное, радиочастота
Отсечка	От 0% до 80% высоты экрана с визуальным оповещением
Измерение амплитуды	От 0% до 110% высоты экрана с разрешением 0,25%
Калибровка	
Автокалибровка	Скорость, смещение нуля Прямой луч (первый донный эхо-сигнал или эхо-эхо) Наклонный луч (УЗ - путь или глубина)
Режимы контроля	Импульс-эхо, раздельно-совмещенный, теневой
Единицы измерения	Миллиметры, дюймы или микросекунды
Диапазон	От 1,86 мм до 25400 мм
Скорость звука	От 635 м/с до 15240 м/с
Смещение нуля	От 0 до 750 мкс
Задержка изображения	От -59 мм до 25400 мм
Угол ввода луча	ОТ 0° ДО 85° С ШАГОМ 0,1

Ультразвуковые толщиномеры являются в настоящее время одними из наиболее широко распространенных средств неразрушающего контроля, позволяющих контролировать толщины стенок металлических узлов, деталей, конструкций при одностороннем доступе. Ультразвуковые толщиномеры измеряют время прохождения импульса от излучателя до противоположной поверхности объекта контроля и обратно к преобразователю. Для проведения таких измерений доступ к противоположной поверхности объекта контроля не требуется. Благодаря этому, если противоположная поверхность объекта контроля является труднодоступной или полностью недоступной, необходимость разрезать объект контроля, отсутствует [6].

Отличительная черта современных толщинометров - возможность хранить и регистрировать результаты измерений. При этом повышается достоверность контроля (измерений), а условия работы оператора становятся значительно комфортнее. Объем памяти, как правило, достаточен для хранения нескольких тысяч результатов, что обеспечивает сохранность всех данных, которые оператор может получить за одну рабочую смену. Эти результаты могут быть введены в компьютер через стандартный интерфейс (как правило - КБ 232).

Принцип работы толщиномера основан на ультразвуковом импульсном эхо-методе изме-

рения, который использует свойство ультразвуковых колебаний отражаться от границы раздела сред с разными акустическими сопротивлениями.

Передающая пластина преобразователя излучает импульс УЗК через линию задержки (призму) в направлении наружной поверхности изделия, толщину которого нужно измерить. Импульс УЗК распространяется в изделии до внутренней поверхности, отражается от нее, распространяется в направлении наружной поверхности и, пройдя линию задержки (призму), принимается приемной пластиной.

Импульс УЗК, отраженный от внутренней поверхности изделия, принимается приемной пластиной преобразователя и преобразуется в электрический сигнал, который поступает на вход усилителя, а с выхода усилителя в измерительный блок. В измерительном блоке формируется импульс, длительность которого равна интервалу времени от момента формирования импульса генератора до момента прихода отраженного импульса в измерительный блок. Данный импульс в измерительном блоке преобразуется в цифровой код, который поступает в БМУ.

БМУ осуществляет расчет толщины изделия в соответствии с цифровым кодом, поступающим из измерительного блока, скоростью УЗК, введенной оператором и хранящейся в ОЗУ, типом преобразователя и времени распространения УЗК в призме данного преобразователя.

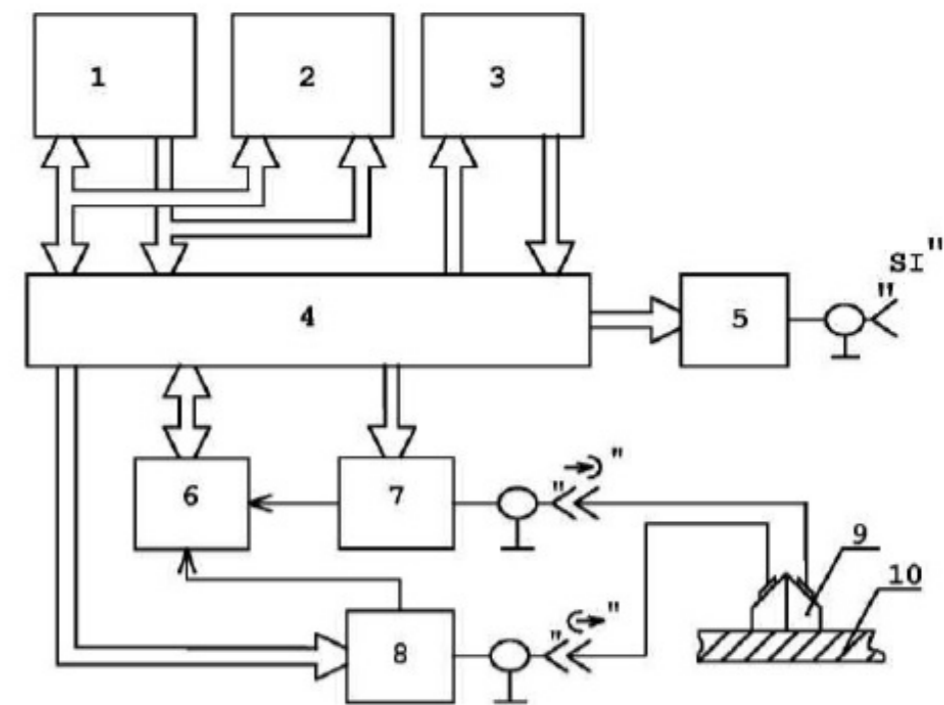


Рис.2. Функциональная схема ультразвукового эхо-импульсного толщиномера [7].

1 - постоянное запоминающее устройство (ПЗУ), 2 - оперативное запоминающее устройство (ОЗУ), 3 – клавиатура, 4 - блок микропроцессорного управления (БМУ), 5 - блок интерфейса, 6 - измерительный блок, 7 –усилитель, 8 - генератор УЗК, 9 – преобразователь, 10- контролируемое изделие.

Большинство современных толщиномеров имеют режим «быстрого сканирования» («измерение минимальной толщины»), при котором в ходе перемещения пьезопреобразователя по поверхности

изделия запоминается лишь минимальное значение толщины из серии измеренных. Такой режим особенно удобен при контроле корродированных изделий: традиционная схема измерения толщины в случайно выбранных дискретных точках несет в себе опасность пропуска участков с глубокими коррозионными поражениями, расположенными между этими точками. В качестве современной модели можно привести в пример ультразвуковой толщиномер CTS 59.

Таблица 2

**Технические характеристики CTS-59**

Диапазон измерений	0,5~600мм
Точность измерений	0,01мм/0,1мм (0,001дюйм/0,01дюйм)
Совместимые ПЭП	2 МГц
	5 МГц
	7,5 МГц
	7,5 МГц, задержка
	Поддержка смарт - диалога для автоматического определения ПЭП.
Диапазон скоростей	400~15000 м/с
Усиление	0-110дБ, ручная регулировка/автоматическая (для автопоиска)
А-скан	Перевернутое/полное/положительное/негатив
Погрешность измерения (с настроенным зондом)	При диапазоне 0,8мм~9,99мм погрешность ±0,05мм; При диапазоне 10,0мм~99,99мм погрешность ±(1%Н+0,04) мм;
	При диапазоне 100,0мм~400,0мм погрешность ±3%Нмм, где Н – толщина контролируемых материалов
Измерение толщины стенки трубы	Настроенный ПЭП может измерять толщину стальных труб с диаметром не менее 20 мм и толщиной не менее 2 мм
Калибровка	Быстрая калибровка нулевой точки с встроенным юстировочным образцом. Определяемая пользователем калибровка
Единица измерения	Дюйм/мм
Рабочая температура	-10~+45°С

Поверочный расчет на прочность определяемый по результатам ультразвуковой толщинометрии, определяет возможность эксплуатации трубопровода при заданных технологических параметрах.

Измерение твердости рекомендуется проводить с целью определения фактической твердости обследуемого металла и последующего сопоставления с допустимыми пределами твердости для основного металла, сварного шва и зон термического влияния и косвенной оценки механических свойств металла.

После проведения диагностирования средствами неразрушающего контроля и поверочных расчетов на прочность возможно проведения гидроили пневмоиспытания. Гидравлическое испытание проводится с целью проверки объекта экспертизы на плотность.

**Вывод.** Анализ потребности рынка средств измерения при проведении экспертизы промышленной безопасности показывает, что современные приборы и средства измерения могут существенно

улучшить эффективность проведения технического диагностирования технических устройств, применяемые на опасном производственном объекте и повысить возможности для точного и оператив-

ного решения как для стандартных задач, так и для сложных случаев диагностики, что приводит к уменьшению риска возникновения аварийных ситуаций на ОПО.

*Список литературы*

1. Федосов А.В. Измерение уровней вредных производственных факторов. Монография [Текст]/ А.В. Федосов, Н.В. Вадулина, С.М. Рямова, А.И. Новикова, А.А. Хизбуллина. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2015 – 333 с.
2. Абдрахимов Ю.Р. Управление рисками и техническое регулирование. Монография [Текст]/ Ю.Р. Абдрахимов, А.В. Федосов, Н.В. Вадулина / Уфа: РИЦ УГНТУ, 2013. – 176с.
3. Федосов А.В., Гайнуллина Л.А. Методы неразрушающего контроля. Электротехнические и информационные комплексы и системы [Текст]/ А.В. Федосов, Л.А. Гайнуллина. – 2015. – Т. 11. – № 2. – С. 73-78.
4. Кретов Е.Ф. Ультразвуковая дефектоскопия в энергомашиностроении [Текст]/ Е.Ф. Кретов. – СПб: Радиоавионика, 1995. – 327 с
5. <http://www.olympus-ims.com>
6. <http://techdiagnostica.ru>
7. <http://kropus.ru>
8. Федеральный закон Российской Федерации № 102-ФЗ от 26.06.2008 «Об обеспечении единства измерений» (ред. от 13.07.2015).
9. Приказ Ростехнадзора от 14 ноября 2013 года № 538 «Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила проведения экспертизы промышленной безопасности».
10. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Порядок осуществления экспертизы промышленной безопасности в химической, нефтехимической и нефтегазоперерабатывающей промышленности» (Приказ Ростехнадзора от 15 октября 2012 года № 584).

*References*

1. Fedosov A.V. Izmerenie urovnej vrednyh proizvodstvennyh faktorov. Monografiya [Tekst]/ A.V. Fedosov, N.V. Vadulina, S.M. Rjamova, A.I. Novikova, A.A. Hizbullina. – Ufa: Izd-vo UGNTU, 2015 – 333 p.
2. Abdrahimov Ju.R. Upravlenie riskami i tehničkoe regulirovanie. Monografiya [Tekst]/ Ju.R. Abdrahimov, A.V. Fedosov, N.V. Vadulina / Ufa: RIC UGNTU, 2013. – 176s.
3. Fedosov A.V., Gajnullina L.A. Metody nerazrushajushhego kontrolja. Jelektrotehničkoeskie i informacionnye komplekсы i sistemy [Tekst]/ A.V. Fedosov, L.A. Gajnullina. – 2015. – Т. 11. – № 2. – P. 73-78.
4. Kretov E.F. Ul'trazvukovaja defektoskopija v jenergomashinostroenii [Tekst]/ E.F. Kretov. – SPb: Radioavionika, 1995. – 327 s
5. <http://www.olympus-ims.com>
6. <http://techdiagnostica.ru>
7. <http://kropus.ru>
8. Federal'nyj zakon Rossijskoj Federacii № 102-FZ ot 26.06.2008 «Ob obespečenii edinstva izmerenij» (red. ot 13.07.2015).
9. Prikaz Rostehnadzora ot 14 nojabrja 2013 goda № 538 «Ob utverzhenii federal'nyh norm i pravil v oblasti promyshlennoj bezopasnosti «Pravila provedenija jekspertizy promyshlennoj bezopasnosti».
10. Federal'nye normy i pravila v oblasti promyshlennoj bezopasnosti «Porjadok osushhestvlenija jekspertizy promyshlennoj bezopasnosti v himičkoeskoj, neftehimičkoeskoj i neftegazopererabatyvajuščej promyshlennosti» (Prikaz Rostehnadzora ot 15 oktjabrja 2012 goda № 584).