



**Международная International
научно- scientific
практическая and practical
конференция conference**

**«ИННОВАЦИИ «INNOVATIONS
В ТОПЛИВНО IN FUEL AND ENERGY
-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ COMPLEX
КОМПЛЕКСЕ AND MECHANICAL
И МАШИНОСТРОЕНИИ» ENGINEERING»
(ТЭК-2017) (FEC-2017)**

**Сборник Materials
трудов**

18-21 апреля/April 2017 г.
Кемерово, Россия / Kemerovo, Russia



Администрация Кемеровской области
Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН
Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева
Национальное Агентство Контроля Сварки
Кузбасский центр сварки и контроля
Некоммерческое партнерство
«Содействие развитию организаций промышленной безопасности Сибири»
Ассоциация машиностроителей Кузбасса

**ИННОВАЦИИ В ТОПЛИВНО- ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ
И МАШИНОСТРОЕНИИ
(ТЭК-2017)** **INNOVATIONS IN FUEL AND
ENERGY COMPLEX AND
MECHANICAL ENGINEERING
(FEC-2017)**

Международная научно- практическая конференция **International scientific and practical conference**

Сборник трудов **Materials**

18-21 апреля/April 2017 г.
Кемерово, Россия / Kemerovo, Russia

УДК 330:621.0(05)
ББК У305.4-551

Инновации в топливно-энергетическом комплексе и машиностроении: сборник трудов
Международной научно-практической конференция 18-21 апреля 2017 года / под ред.
А. Н. Смирнова. – Кемерово : КузГТУ, 2017. – 319 с.

ISBN 978-5-906888-72-3

В сборнике представлены труды Международной научно-практической конференции «Инновации в топливно-энергетическом комплексе и машиностроении», отражающие актуальные проблемы ТЭК и машиностроения, вопросы импортозамещения, эксплуатации, ремонта и восстановления деталей и узлов потенциально опасного оборудования, развитию сварочного производства, технического диагностирования и экспертизы промышленной безопасности (ЭПБ). Большое внимание уделено оценке квалификаций (№238-ФЗ «О независимой оценке квалификаций») персонала предприятий ТЭК.

Ответственный редактор
Смирнов А.Н.

Редакционная коллегия
Останин О.А.
Князьков В.Л.
Никитенко С.М.

За содержание предоставленной информации ответственность несут авторы.
Незначительные исправления и дополнительное форматирование было вызвано приведением материалов к требованиям печати

ISBN 978-5-906888-72-3

© Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева, 2017
© Авторы, 2017

СОДЕРЖАНИЕ

Приветственные слова	9	Words of welcome
СЕКЦИЯ 1		SECTION 1
Угольное и энергетическое машиностроение, импортозамещение		Coal and power engineering, import substitution
<i>Махалов М.С. Блюменштейн В.Ю.</i>	16	<i>Mahalov M.S., Blumenstein V.Yu.</i>
Модель формирования механического состояния и остаточных напряжений поверхностного слоя в процессах ППД с учетом эффекта упрочняемого тела		The surface layer mechanical state and residual stress forming model in surface plastic deformation process with the hardened body effect consideration
<i>Никитенко С.М., Месяц М.А., Нэоджи Б.</i>	24	<i>Nikitenko S.M., Mesyats M.A., Neogi B.</i>
Новые кредитные инструменты для программы импортозамещения в машиностроительной отрасли		New credit instruments for import substitution program in the engineering industry
<i>Никитенко С.М., Никитенко М.С., Киселёв Ю.Е.</i>	29	<i>Nikitenko S.M., Nikitenko M.S., Kiselev Yu.E.</i>
Разработка теплообменных аппаратов нового поколения для предприятий ТЭК		Development of new generation air-heater units for FEC companies
<i>Никитенко С.М., Гоосен Е.В.</i>	35	<i>Nikitenko S.M., Goosen E.V.</i>
Формы территориального сотрудничества по созданию инновационных секторов экономики		Forms of territorial cooperation in creation of innovative sectors of economy
<i>Нестеров Д.В., Никитенко М.С.</i>	39	<i>Nesterov D.V., Nikitenko M.S.</i>
Программа расчета параметров и сборки опытного образца трансформатора на основе фольги чистого железа		Transformer design software and assembling the pure iron foil transformer prototype
<i>Дубов Г.М.</i>	45	<i>Dubov G.M.</i>
Сравнительный анализ оснащенности угольных предприятий горношахтным оборудованием отечественного и импортного производства		Comparative analysis of domestic and imported equipment in coal enterprises
<i>Кассихина Е.Г., Першин В.В., Волков В.М.</i>	51	<i>Kassihina E. G., Pershin V. V., Volkov V. M.</i>
Монтаж стального укосного копра многофункционального назначения		Installation of steel hay copra multi- purpose
<i>Клишин В.И., Анферов Б.А., Кузнецова Л.В.</i>	57	<i>Klishin V. I., Afyorov B. A., Kuznetsova L. V.</i>
Направления совершенствования разработки мощных пластов с выпуском угля подкровельной толщи		Areas of improving development of thick seams with drawing of the coal from under the roof strata
<i>Малахов Ю.В.</i>	63	<i>Malakhov Yu. V.</i>
Стандартизация как инструмент развития технологий и инноваций в ТЭК		Standardization as the instrument of technology and innovations development in FEC

Никитенко С.М., Гоосен Е.В.
Принципы государственно-частного
партнёрства: новые возможности для ТЭК
России

69 *Nikitenko S. M., Goosen E. V.*
Principles of state-private partnership: new
opportunities for Russian fuel and energy
complex

СЕКЦИЯ 2

**Восстановление работоспособности
оборудования ТЭК, инновации в
сварке/наплавке и упрочняющих
технологиях, функциональные
покрытия**

SECTION 2

**The restoration of the equipment of
TEK, innovations in welding/cladding
and hardening technologies,
functional coatings**

*Иванов Ю.Ф., Кормышев В.Е.,
Громов В.Е., Коновалов С.В.,
Мартусевич Е.В., Тересов А.Д.*
Повышение износостойкости
низкоуглеродистой стали наплавкой
порошковой проволокой с последующей
электронно-пучковой обработкой
*Князьков А.Ф., Князьков В.Л.,
Петрова Е.Е.*

74 *Ivanov Yu.F., Gromov V.E.,
Kormyshev V.E., Konovalov S.V.,
Martusevich E.V., Teresov A.D.*
Increasing low carbon steel wear resistance
by flux-cored wire surfacing with
subsequent electron beam processing

Способы повышения эксплуатационных
свойств деталей машин
горнодобывающего оборудования,
работающего в экстремальных условиях
ударных нагрузок и абразивного износа
при низких, до минус 70°С температурах
*Князьков А.Ф., Князьков В.Л., Князьков
С.А., Деменцев К.И., Петрова Е.Е.*
Импульсное управление процессом
электродуговой сварки электродами с
покрытием
*Князьков В.Л., Петрова Е.Е.,
Пимонов М.В., Мелкозерных Н.В.*
Исследования характера повреждения
деталей машин с целью оптимизации
технологии их восстановления

80 *Knyaz'kov A.F., Knyaz'kov V.L.,
Petrova E.E.*
Ways of improving operational
characteristics of mining equipment parts
operating under extreme conditions of
impact loads and abrasive wear at low
temperatures down to minus 70° C

86 *Knyaz'kov A.F., Knyaz'kov V.L.,
Knyaz'kov S.A., Dementia K. I.,
Petrova E.E.*
Impulse control of the process of electric
arc welding by coated electrode
92 *Knyaz'kov V.L., Petrova E.E.,
Pimonov M.V., Melkozernyh N.V.*
Research of the character of damage to
machine parts with the purpose of
optimization of the technology of their
restoration

*Князьков А.Ф., Дитенберг И.А.,
Гаврилин А.Н., Гриняев К.В.,
Князьков С.А., Смирнов И.В.*
Применение импульсного режима
горения дуги для получения наплавки
системы Fe–Cr–Mo–Ti–Ni–Cu–Al
*Князьков А.Ф., Князьков С.А.,
Табанов А.М.*

98 *Knyaz'kov A.F., Ditenberg I.A.,
Gavrilin A.N., Grinyaev K.V.,
Knyaz'kov S.A., Smirnov I.V.*
Application of electric-arc pulsed mode for
obtaining surfacings of Fe–Mo–Cr–Ti–Ni–
Cu–Al-System
103 *Knyaz'kov A.F., Knyaz'kov S.A.,
Tabanov A.M.*

Управление механизмом коротких
замыканий при сварке в защитной среде CO₂

Control of short circuit transfer process
when welding in CO₂ protective
atmosphere

- | | | |
|--|--|---|
| <p style="text-align: right;"><i>Гусев А.И., Козырев Н.А.,
Осетковский И.В., Кибко Н.В.,
Попова М.В.</i></p> <p>Исследование качества металла,
наплавленного порошковой проволокой
системы Fe-C-Si-Mn-Cr-Mo-Ni-V-Co</p> <p style="text-align: right;"><i>Князьков А.Ф., Пустовых О.С.,
Князьков С.А., Терехин В.Б.,
Радионов И.И.</i></p> <p>Формирование импульсов сварочного
тока для сварки в динамическом режиме
горения дуги</p> <p style="text-align: right;"><i>Козырев Н.А., Усольцев А.А., Крюков Р.Е.,
Шевченко Р.А., Шишкин П.Е.</i></p> <p>Современные методы получения
бесстыковых рельсов</p> <p style="text-align: right;"><i>Козырев Н.А., Крюков Р.Е.</i></p> <p>Сварочные флюсы и добавки к ним на основе
отходов металлургического производства</p> <p style="text-align: right;"><i>Козырев Н.А., Крюков Р.Е.</i></p> <p>Эффективное использование шлака
силикомарганца при изготовлении
сварочных флюсов</p> <p style="text-align: right;"><i>Медведев А. Ю., Бычков В. М.,
Атрошенко В. В., Измайлова Н. Ф.,
Сунов А. В.</i></p> <p>Усталостная прочность соединений,
полученных линейной сваркой трением в
моноколесах газотурбинных двигателей</p> <p style="text-align: right;"><i>Никитенко С.М.,
Крестовоздвиженский П. Д.
Дворников Л.Т., Корнеев В.А.</i></p> <p>Новые конструкции радиальных резцов,
армированные сверхтвёрдым
композиционным материалом, и
технические средства для оценки их
эффективности</p> <p style="text-align: right;"><i>Смирнов А.Н., Попова Н.А.,
Никоненко Е.Л., Ожиганов Е.А.,
Абабков Н.В., Конева Н.А.</i></p> <p>Влияние способа сварки на структурно-
фазовое состояние сварного шва стали
09Г2С</p> <p style="text-align: right;"><i>Сидоров В.П.</i></p> <p>Анализ режимов сварки под флюсом
двухсторонних соединений без разделки
кромки</p> | <p>110</p> <p>116</p> <p>123</p> <p>128</p> <p>134</p> <p>140</p> <p>145</p> <p>152</p> <p>159</p> | <p><i>Gusev A.I., Kozyrev N. A., Osetkovskij I.V,
Kibko N.V., Popova M.V.</i>
Study on the quality of the weld metal
cored wire system
Fe-C-Si-Mn-Cr-Mo-V-Ni-Co</p> <p><i>Knyaz'kov A.F., Pustovykh O.S.,
Knyaz'kov S.A., Terekhin V.B,
Radionov I.I.</i>
Formation of arc current impulses for
welding in the dynamic mode of arcing</p> <p><i>Kozyrev N.A., Usoltsev A.A., Kryukov R.E.,
Shevchenko R.A., Shishkin P.E.</i>
Modern methods of obtaining continuous
rails</p> <p><i>Kozyrev N. A., Kryukov R.E.</i>
Welding fluxes and additives based on
metallurgical wastes</p> <p><i>Kozyrev N. A., Kryukov R.E.</i>
Effective use of silicomanganese slag in the
manufacture
of welding fluxes</p> <p><i>Medvedev A. Y., Bychkov V. M.,
Atroshenko V. V., Ismailova N. F.,
Supov A. V.</i>
Fatigue strength of friction welded joints in
gas turbine blisks</p> <p><i>Nikitenko S.M.,
Krestovozdvizhensky P.D.,
Dvornikov L.T., Korneyev V.A.</i>
New designs of radial picks reinforced by
super hard composite material and
technical means for their efficiency
assessment</p> <p><i>Smirnov A.N., Popova N.A.,
Nikonenko E.L., Ozhiganov E.A.,
Ababkov N.V., Koneva N.A.</i>
The effect of welding process on structure
and phase composition of welded joint in
09G2S steel</p> <p><i>Sidorov V.P.</i>
Analysis of submerged welding modes of
double-sided joints without edge
preparation</p> |
|--|--|---|

- Радченко М.В., Киселев В.С., Шевцов Ю.О., Радченко Т.Б.*
Перспективы развития инновационной технологии сверхзвуковой газопорошковой наплавки покрытий из сплавов системы Ni-Cr-B-Si
Попова А.А., Яковлев В.И.
- Функциональные покрытия из биосовместимых порошковых механокомпозитов, полученных методом детонационно-газового напыления*
Осетковский И.В., Козырев Н.А., Гусев А.И., Кибко Н.В., Попова М.В.
- Изучение влияния кобальта на свойства наплавленного порошковой проволокой системы Fe-C-Si-Mn-Cr-Ni-Mo-V металла
Рахимьянов Х.М., Рахимьянов К.Х., Рахимьянов А.Х.
- Оценка параметров деформационного воздействия при ультразвуковом пластическом деформировании металлических материалов
Рахимьянов Х.М., Семенова Ю.С., Еремина А.С.
- Технологические ограничения режимных параметров ультразвукового пластического деформирования
Рахимьянов Х.М., Семенова Ю.С., Еремина А.С.
- Формирование единичного пластического отпечатка индентора при ультразвуковом поверхностном упрочнении
Сейдуров М.Н., Ковалев С.В., Зубков А.С.
- Морфология промежуточных структур, формирующихся при бейнитном превращении в высокопрочных низколегированных сталях
Шевченко Р.А., Козырев Н.А., Шишкин П.Е., Крюков Р.Е., Усольцев А.А.
- Выбор оптимальных режимов электроконтактной сварки железнодорожных рельсов
Сидоров В.П., Мельзитдинова А.В.
- Определение коэффициентов математической модели по размерам шва стыкового соединения без разделки кромок
- 163 *Radchenko M.V., Kiselev V.S., Shevtsov Yu.O., Radchenko T.B.*
Prospects for the development of innovative technology of supersonic gas-powder surfacing coatings from alloys of the system Ni-Cr-B-Si
- 168 *Popova A.A., Yakovlev V.I.*
Functional coating of biocompatible powder mechanocomposites obtained by detonation-gas spraying
- 174 *Osetkovskij I.V., Kozyrev N. A., Gusev A.I., Kibko N.V., Popova M.V.*
Study of the effect of cobalt on the properties of weld flux cored wire system Fe-C-Si-Mn-Cr-Ni-Mo-V metal
- 180 *Rakhimyanov Kh.M., Rakhimyanov K.Kh., Rakhimyanov A.Kh.*
Determination of parameters of deformation impact during ultrasonic plastic deformation of metal materials
- 187 *Rakhimyanov Kh.M., Semenova Yu.S., Eryomina A.S.*
Technological limitations of processing mode parameters at Ultrasonic Surface Hardening
- 193 *Rakhimyanov Kh.M., Semenova Yu.S., Eryomina A.S.*
Formation of the single imprint of ultrasonic instrument during ultrasonic surface hardening
- 199 *Seidurov M.N., Kovalev S.V., Zubkov A.S.*
The morphology of the intermediate structures formed during bainite transformation in hsla steels
- 205 *Shevchenko R.A., Kozyrev N.A., Shishkin P.E., Kryukov R.E., Usoltsev A.A.*
Choice of optimal modes of electrocontact welding of railway rails
- 211 *Sidorov V.P., Melzitdinova A.V.*
Determination of coefficients of a mathematical model by the dimensions of a square weld without grooving

- | | | | |
|--|------------|---|------------|
| <p><i>Атрошенко В. В., Бычков В. М.,
Никифоров Р. В., Иванова О. В.</i>
Численное моделирование локальной
термообработки сварных швов
ротора распределенным электронным
лучом
<i>Чинахов Д. А.</i>
Газодинамическое воздействие струи
защитного газа на процесс сварки
плавящимся электродом</p> | <p>215</p> | <p><i>Atroshenko V. V., Bychkov V. M.,
Nikiforov R. V., Ivanova O. V.</i>
Numerical Simulation of local heat
treatment of rotor welded joints
using distributed electron beam

<i>Chinakhov D. A.</i>
Gas-dynamic impact of a protective gas jet
on the process of welding with a
consumable electrode</p> | <p>220</p> |
| <p>СЕКЦИЯ 3
Техническое диагностирование и
экспертиза промышленной
безопасности оборудования ТЭК</p> | | <p>SECTION 3
Technical diagnostics and
examination of industrial safety of
equipment of FEC</p> | |
| <p><i>Абабков Н.В., Смирнов А.Н.</i>
Влияние микроповрежденности металла
длительно работающих объектов ТЭК на
акустические и магнитные
характеристики
<i>Черепанов А.П., Ляпустин П.К.</i>
Исследование коррозионной стойкости
металлов нефтехимического
оборудования
<i>Черепанов А.П., Ляпустин П.К.</i>
Прогнозирование ресурса как метод
повышения безопасности технических
устройств
<i>Мокрушев А.А., Герике Б.Л.</i>
Диагностика технического состояния
подшипников качения опорных узлов
горных машин
<i>Капранов Б.И., Суторихин В.А.</i>
Дистанционный акусто-эмиссионный
контроль металлических изделий и
сварных соединений
<i>Курафеев В.А., Обгольц А.А.,
Храмов Ю.С.</i>
О скрытом конфликте интересов при
осуществлении деятельности по
экспертизе промышленной безопасности
<i>Кузин Е.Г.</i>
Диагностика приводов ленточных
конвейеров по совокупности методов
неразрушающего контроля</p> | <p>227</p> | <p><i>Ababkov N.V., Smirnov A.N.</i>
Influence of metal microdamage of long
running facilities of the fuel and energy
complex on acoustic and magnetic
characteristics
<i>Cherepanov A.P., Lyapustin P.K.</i>
Study of corrosion resistance of metals of
petrochemical equipment

<i>Cherepanov A.P., Lyapustin P.K.</i>
Forecasting service life as a method of
increasing safety of technical devices

<i>Mokrushev A.A., Guericke B.L.</i>
Diagnostics of the technical state of
bearings of mining machines base assem-
blies
<i>Kapranov B.I., Sutorikhin V.A.</i>
Remote acoustic emission monitoring of
metal products and welded joints

<i>Kurafeev V.A., Obgolts A.A.,
Khramov Yu.S.</i>
About hidden conflict of interest within
activity in industrial safety inspection

<i>Kuzin E.G.</i>
Diagnostics of technical condition of gear
units of belt conveyors for the set of
methods of nondestructive testing</p> | <p>233</p> |
| <p><i>Курафеев В.А., Обгольц А.А.,
Храмов Ю.С.</i>
О скрытом конфликте интересов при
осуществлении деятельности по
экспертизе промышленной безопасности
<i>Кузин Е.Г.</i>
Диагностика приводов ленточных
конвейеров по совокупности методов
неразрушающего контроля</p> | <p>239</p> | <p><i>Cherepanov A.P., Lyapustin P.K.</i>
Forecasting service life as a method of
increasing safety of technical devices

<i>Mokrushev A.A., Guericke B.L.</i>
Diagnostics of the technical state of
bearings of mining machines base assem-
blies
<i>Kapranov B.I., Sutorikhin V.A.</i>
Remote acoustic emission monitoring of
metal products and welded joints

<i>Kurafeev V.A., Obgolts A.A.,
Khramov Yu.S.</i>
About hidden conflict of interest within
activity in industrial safety inspection

<i>Kuzin E.G.</i>
Diagnostics of technical condition of gear
units of belt conveyors for the set of
methods of nondestructive testing</p> | <p>245</p> |
| <p><i>Курафеев В.А., Обгольц А.А.,
Храмов Ю.С.</i>
О скрытом конфликте интересов при
осуществлении деятельности по
экспертизе промышленной безопасности
<i>Кузин Е.Г.</i>
Диагностика приводов ленточных
конвейеров по совокупности методов
неразрушающего контроля</p> | <p>250</p> | <p><i>Kapranov B.I., Sutorikhin V.A.</i>
Remote acoustic emission monitoring of
metal products and welded joints

<i>Kurafeev V.A., Obgolts A.A.,
Khramov Yu.S.</i>
About hidden conflict of interest within
activity in industrial safety inspection

<i>Kuzin E.G.</i>
Diagnostics of technical condition of gear
units of belt conveyors for the set of
methods of nondestructive testing</p> | <p>255</p> |
| <p><i>Курафеев В.А., Обгольц А.А.,
Храмов Ю.С.</i>
О скрытом конфликте интересов при
осуществлении деятельности по
экспертизе промышленной безопасности
<i>Кузин Е.Г.</i>
Диагностика приводов ленточных
конвейеров по совокупности методов
неразрушающего контроля</p> | <p>259</p> | <p><i>Kurafeev V.A., Obgolts A.A.,
Khramov Yu.S.</i>
About hidden conflict of interest within
activity in industrial safety inspection

<i>Kuzin E.G.</i>
Diagnostics of technical condition of gear
units of belt conveyors for the set of
methods of nondestructive testing</p> | <p>259</p> |

- | | |
|---|---|
| <p><i>Сильвестров Ю.Г., Фенстер Д.Б.,
Лисицын К.А., Туйбышев Р.В.,
Татаркин Р.С.</i></p> <p>Оценка статистических характеристик
процесса контроля твердости при
неразрушающем контроле</p> <p><i>Смирнов А.Н., Абабков Н.В.,
Петрачков А.И., Радченко В.М.</i></p> <p>Проблемы экспертизы промышленной
безопасности в современных условиях и
новая методология оценки ресурса</p> <p style="text-align: right;"><i>Тарасов В.М.</i></p> <p>Импортозамещающие технологии по
добыче твердого полезного ископаемого
подземным способом</p> <p><i>Муравьев В.В., Муравьева О.В.,
Стрижак В.А., Мышкин Ю.В.</i></p> <p>Акустический волноводный контроль
труб малого диаметра</p> <p><i>Блюменштейн В.Ю., Мирошин И.В.,
Петренко К.П.</i></p> <p>Акустико-эмиссионный контроль
деформированного состояния металла в
условиях простого нагружения</p> | <p>266 <i>Silvestrov Yu.G., Fenster D.B.,
Lisitsyn K.A., Tuybyshev R.V.,
Tatarkin R.S.</i></p> <p>Assessment of statistical characteristics of
hardness control process
for nondestructive testing</p> <p>271 <i>Smirnov A.N., Ababkov N.V.,
Petrachkov A.I., Radchenko V.M.</i></p> <p>Problems of industrial safety examination
in modern
conditions and new resource evaluation
methodology</p> <p>282 <i>Tarasov V.M.</i></p> <p>Import-substituting technology for the
extraction of solid mineral underground
mining</p> <p>292 <i>Muravieva O.V., Muraviev V.V.,
Strizhak V.A., Myshkin Yu.V.</i></p> <p>Acoustic guided wave testing of pipes of
small diameters</p> <p>299 <i>Blumenstein V.Yu., Miroshin I.V.,
Petrenko K.P.</i></p> <p>Acoustic emission control of strain state in
simple loading condition</p> |
|---|---|

СЕКЦИЯ 4

Оценка квалификации и совершенствование образования в области подготовки кадров для предприятий ТЭК

- Никитенко С.М., Балаганская Е.Н.*
- Совершенствование подготовки кадров в
области управления интеллектуальной
собственностью для предприятий ТЭК

SECTION 4

The qualification and improvement of education in the field of training for energy companies

- 313 *Nikitenko S.M., Balaganskaya E.N.*
- Improving training in the field of
intellectual property management for
energy companies

ОЦЕНКА СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССА КОНТРОЛЯ ТВЕРДОСТИ ПРИ НЕРАЗРУШАЮЩЕМ КОНТРОЛЕ

ASSESSMENT OF STATISTICAL CHARACTERISTICS OF HARDNESS CONTROL PROCESS

FOR NONDESTRUCTIVE TESTING

Сильвестров Юрий Григорьевич
Silvestrov Yuriy G.

Фенстер Дмитрий Борисович
Fenster Dmitry B.

Лисицын Константин Александрович
Lisitsyn Konstantin A.

Туйбышев Роман Владимирович
Tuymbyshev Roman V.

Татаркин Руслан Сергеевич
Tatarkin Ruslan S.

ООО «Энергопром-М»,
654005 Кемеровская область, г. Новокузнецк, ул. Пирогова 8,
ООО «Energoprom-M»
654005, the Kemerovo region, Novokuznetsk, Pirogova str. 8
e-mail: energoprom-m@mail.ru

Аннотация: Рассмотрена методика оценки статистических характеристик настройки процессов измерений и контроля для условий неразрушающего контроля. На примере контроля твердости металла переносными приборами, показана возможность оценки стабильности процесса контроля и величины его смещения, являющейся систематической погрешностью результатов измерений. Результаты этой оценки могут быть использованы при анализе возможных причин погрешности результатов неразрушающего контроля и разработке корректирующих и предупреждающих действий по ее снижению.

Ключевые слова: Неразрушающий контроль, измерительная система, твердость, настройка, стабильность, смещение.

Abstract: Statistical characteristics assessment method of measurement and control processes settings for nondestructive testing conditions is considered. By the example of metal hardness control with portable devices the ability of control process stability assessment and the degree of its bias that is the systematic error of measurement results are shown. The assessment results can be used in likely error cause analysis of nondestructive testing results and for the development of preventive and corrective actions for its reduction.

Keywords: Nondestructive testing, measurement system, hardness, setting, stability, bias.

Введение

При техническом диагностировании технических устройств выполняют контроль их элементов и на основании полученных результатов делают вывод о состоянии

объекта. В лабораториях неразрушающего контроля действуют системы управления процессами контроля, включающие обязательную поверку средств измерения и контроля с периодичностью обычно раз в год. В то же время известно, что процессы контроля, как и любые процессы, обладают изменчивостью и поэтому к оценке их результатов следует подходить со статистической точки зрения. В течение периода между поверками могут возникнуть особые причины изменчивости, которые могут привести к нестабильности процесса контроля, а, следовательно, и к непредсказуемости его результатов. Поэтому представляется целесообразным проводить оценку статистических характеристик процесса контроля в период между плановыми поверками и, на основании этих оценок, предпринимать корректирующие и предупреждающие действия.

В производственной практике для оценки статистических характеристик измерительных и контрольных процессов используют различные методы. Один из наиболее эффективных методов применяется в автомобилестроении. На Западе он известен как метод MSA «Анализ измерительных систем» [1] и является обязательной процедурой в системах качества поставщиков автомобильной продукции. В России аналог ему прописан в ГОСТе Р 51814.5-2005 «Анализ измерительных и контрольных процессов» [2].

В экспертной организации ООО «Энергопром-М», г. Новокузнецк было проведено исследование по оценке возможностей применения этого метода в условиях испытательной лаборатории неразрушающего контроля (ЛНК), проводящей контроль технических устройств в процессе технического диагностирования. Рассматриваемый метод предназначен для работы с численными характеристиками контролируемых параметров. Поэтому в качестве исследуемого метода был выбран контроль твердости металла переносными приборами.

Метод MSA рассматривает и анализирует измерительную систему, как совокупность элементов, каждый из которых может оказывать влияние на изменчивость результатов контроля. К основным элементам измерительной системы относят измерительное оборудование, персонал (дефектоскопист) и сам объект контроля (контролируемое изделие).

Изменчивость измерительной системы рассматривают с позиций изменчивости настройки и изменчивости разброса. В качестве статистических характеристик настройки, согласно терминологии метода MSA, принимают *стабильность*, *смещение* и *линейность*, в качестве статистических характеристик разброса – *сходимость* и *воспроизводимость*.

В настоящей работе была исследована возможность оценки в условиях ЛНК следующих статистических характеристик настройки процесса контроля: *стабильности* и *смещения*.

Для исследования измерительного процесса на *стабильность* применяют контрольные карты средних и размахов [2]. Для проведения эксперимента был отобран образец, представляющий собой отрезок трубы из стали 20 внешним диаметром 377мм и толщиной 15мм. Измерения проводились твердомером ТЕМП-3 циклами по три измерения в цикле разными дефектоскопистами лаборатории. Для каждого i -ого цикла измерений подсчитывалось среднее значение результатов измерений $\bar{X}_i$ и размах результатов измерений R_i по формулам:

$$\bar{X}_i = \sum_{k=1}^3 x_{ik}, \quad (1)$$

$$R_i = \max_{k=1,3}(X_{ik}) - \min_{k=1,3}(X_{ik}) \quad (2)$$

Затем рассчитывалось среднее результатов всех измерений и средний размах по формулам:

$$\bar{\bar{X}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (3)$$

$$\bar{R} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i, \quad (4)$$

где $n=25$ – количество циклов измерения, взятых для построения контрольных карт, CL

$\bar{\bar{X}} = CL_{\bar{X}}$ для, $\bar{R} = CL_R$ – средние линии на контрольных картах средних значений и размахов соответственно.

Полученные значения использовались для нахождения контрольных границ по формулам:

$$UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2 \cdot \bar{R}, \quad (5)$$

$$LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2 \cdot \bar{R}, \quad (6)$$

$$UCL_R = D_4 \cdot \bar{R}, \quad (7)$$

$$LCL_R = D_3 \cdot \bar{R}, \quad (8)$$

где $UCL_{\bar{X}}$, $LCL_{\bar{X}}$ – верхняя и нижняя границы контрольной карты средних соответственно,

UCL_R , LCL_R – верхняя и нижняя границы контрольной карты размахов соответственно,

A_2 , D_4 , D_3 – константы для построения контрольных карт, равные для объема выборки в нашем случае, равного трем: 1,02; 2,57 и 0 соответственно [2].

Построенная по результатам расчетов контрольная карта средних значений представлена на рисунке 1, а контрольная карта размахов на рисунке 2. Анализ результатов построения показывает, что на контрольных картах средних значений и размахов нет выходов точек за контрольные границы и маловероятных серий точек согласно [2]. Это говорит о том, что на процесс контроля не влияют особые, посторонние причины, процесс поэтому стабильный, а его изменчивость предсказуема.

Под *смещением* (В) измерительной системы понимают систематическую погрешность в результатах измерений, которую оценивают, как правило, как разность между средним значением многократных измерений и предполагаемым значением измеряемого параметра. Для оценки смещения были проведены многократные измерения твердости твердомером ТЭМП-3 на образцах, представляющих эталоны твердости. Пример результата исследования для эталона твердости 159 НВ в виде гистограммы распределения твердости показан на рисунке 3.



Рисунок 1 – Контрольная карта средних значений

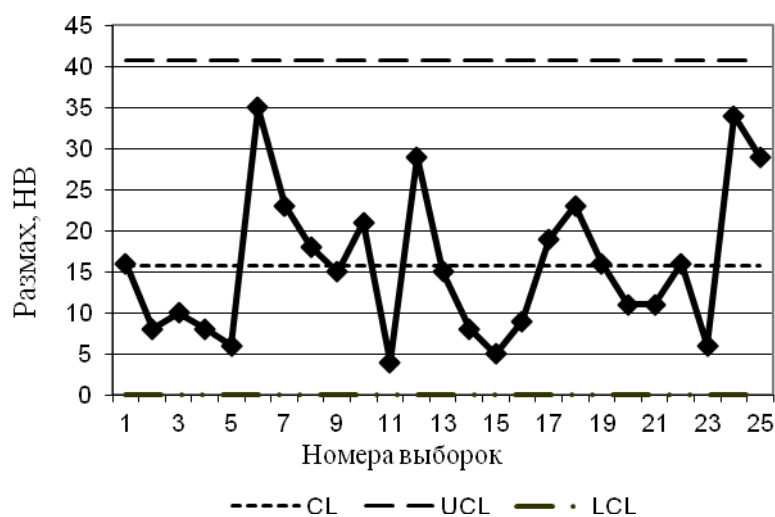


Рисунок 2 – Контрольная карта размахов

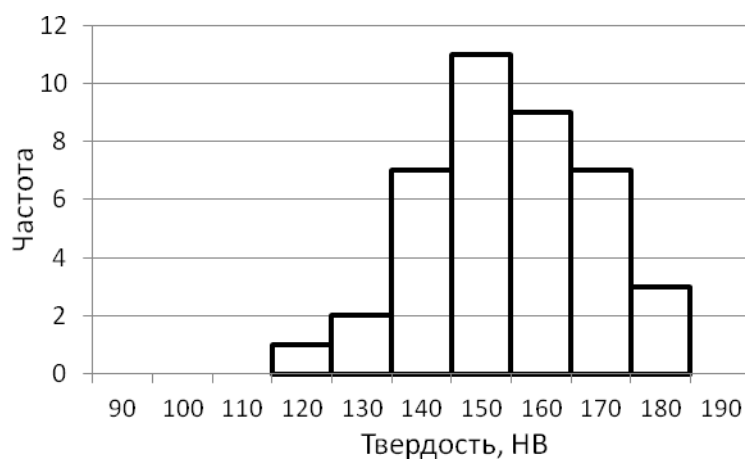


Рисунок 3 – Гистограмма распределения результатов замера твердости

Смещение В подсчитывается по формуле:

$$B = \bar{X} - X^{ист}, \quad (9)$$

где $\bar{X}=150$ HB – среднее арифметическое измеренных значений,
 $X^{ист}=159$ HB – эталонное значение твердости.

Полученное значение смещения должно быть проанализировано с позиции соответствия его полю допуска твердости контролируемого металла [2] в соответствие со следующим выражением:

$$\%B = \frac{|B|}{USL - LSL} 100 = HB, \quad (10)$$

где USL и LSL – верхняя и нижняя границы допуска на измеряемый параметр.

Значения этих границ следует брать из нормативных документов для соответствующих исследуемых объектов. Так, например, для сосудов, работающих под давлением, из углеродистых сталей эти границы равны соответственно 110 и 170 HB [3]. Подставляя численные значения параметров в выражения (9) и (10), получаем: $B = -9$ HB, $\%B=15\%$. Рекомендуемое приемлемое значение смещения в соответствие с [2] не должно превышать 10%, что говорит об имеющихся проблемах с настройкой измерительной системы контроля твердости и это должно учитываться при анализе результатов контроля в процессе технического диагностирования.

Проведенные исследования говорят об эффективности применения рассмотренных методов оценки стабильности и смещения процессов контроля в условиях лабораторий неразрушающего контроля и о возможности их использования для мониторинга статистических характеристик измерительных и контрольных процессов, дающих численные характеристики контролируемых параметров, в период между проведениями проверок средств измерений. Видами контроля, для которых можно проводить такой мониторинг, являются, в первую очередь, измерение толщины ультразвуковым методом и контроль твердости.

Дальнейшая работа в этом направлении предполагает разработку методики оценки *линейности, сходимости и воспроизводимости* измерительных процессов и вклад в эти характеристики отдельных составляющих измерительной системы: измерительного оборудования, контролеров, измеряемых образцов.

Литература:

- 1 Анализ измерительных систем. MSA. Ссылочное руководство. – 3-е изд., испр. Перевод с англ. – Н. Новгород: ООО СМЦ «Приоритет», 2007. – 242 с.
- 2 ГОСТ Р 51814.5-2005. Системы менеджмента качества в автомобилестроении. Анализ измерительных и контрольных процессов. – Введ. 31.05.2005. – М.: Изд-во стандартов, 2005. – 54 с.
- 3 СО 153-34.17.439-2003. Инструкция по продлению срока службы сосудов, работающих под давлением. – Введ. 24.06.2003. – М.: ОАО «НТЦ «Промышленная безопасность», 2007. – 74 с.