

**Учредители:** Национальная академия наук Украины, Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, Международная Ассоциация «Сварка» (издатель)

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**

Главный редактор  
**Б. Е. ПАТОН**

Ученые ИЭС им. Е. О. Патона  
к.ф.-м.н. **О. И. Бойчук**, д.т.н. **Э. Ф. Гарф**,  
к.т.н. **Е. А. Давыдов**, к.ф.-м.н. **А. Т. Зельниченко**,  
д.т.н. **Л. М. Лобанов**,  
д.т.н. **А. Я. Недосека** (зам. гл. ред.),  
**Ю. Н. Посыпайко**, **Н. А. Питула** (отв. секретарь),  
д.т.н. **В. А. Троицкий** (зам. гл. ред.),  
к.т.н. **Е. В. Шаповалов**

Ученые институтов и университетов Украины  
д.т.н. **В. А. Стрижало**

Ин-т проблем прочности, Киев, Украина

к.х.н. **М. Л. Казакевич**

Ин-т физической химии, Киев, Украина

д.т.н. **О. М. Карпаш**

Ив.-Франк. нац. техн. ун-т нефти и газа, Украина

д.ф.-м.н. **З. Т. Назарчук**, д.т.н. **В. Н. Учанин**

Физ.-мех. ин-т, Львов, Украина

д.т.н. **Г. И. Прокопенко**

Ин-т металлофизики, Киев, Украина

д.т.н. **В. А. Стороженко**

Харьков. нац. ун-т радиоэлектроники, Украина

д.т.н. **С. К. Фомичов**

НТУУ «Киев. политех. ин-т им. Игоря Сикорского», Киев

д.т.н. **М. Г. Чаусов**

Нац. ун-т биорес. и природопольз. Украины, Киев

Зарубежные ученые

д.т.н. **Н. П. Алешин**

МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва, РФ

д.т.н. **В. Л. Венгринович**

Ин-т прикл. физики, Минск, Республика Беларусь

д.т.н. **В. В. Клюев**

ЗАО НИИИИ МНПО «Спектр», Москва, РФ

**Адрес редакции**

ИЭС им. Е.О.Патона НАН Украины

ул.Казимира Малевича, 11

г. Киев, 03150, Украина

Тел./Факс: (044) 200-82-77, 205-23-90

E-mail: journal@paton.kiev.ua

www.patonpublishinghouse.com

**Редакторы**

К. Г. Григоренко, Т. В. Юштина

**Электронная верстка**

Л. Н. Герасименко, Д. И. Серета

Свидетельство

о государственной регистрации

KB4787 от 09.01.2001.

ISSN 0235-3474

Doi.org/10.15407/tdnk

Журнал входит в перечень  
утвержденных МОН Украины  
изданий для публикации трудов  
соискателей ученых степеней

**СОДЕРЖАНИЕ**

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ**

**НЕДОСЕКА А. Я., НЕДОСЕКА С. А., МАРКАШОВА Л. И., АЛЕКСЕЕНКО Т. А.** Исследование методом акустической эмиссии кинетики накопления повреждений при разрушении материалов..... 3

**ДАВЫДОВ Е. А., ДЯДИН В. П., ШЕКЕРО А. Л.** О терминологических особенностях в обозначении ультразвуковых волн, образующихся при первом критическом угле ..... 14

**СУЧКОВ Г. М., ПЛЕСНЕЦОВ С. Ю., МЕЩЕРЯКОВ С. Ю., ЮДАНОВА Н. Н.** Новые разработки электромагнитно-акустических преобразователей (обзор)..... 27

**ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ**

**КРИВОРУЧКО В. Т., НАВАЛЬНЕВ Н. И.** Автоматизация геодезического мониторинга оборудования компрессорных станций ..... 35

**ВЕРЕНЕВ В. В., БАГЛАЙ А. В., БЕЛОДЕДЕНКО С. В.** Особенности вибрационных измерений в прокатных клетях..... 43

**БОНДАРЕНКО Ю. К., КОВАЛЬЧУК О. В.** Идентификация рисков при производстве сварных конструкций для внедрения риск-менеджмента на предприятии ..... 47

**ИНФОРМАЦИЯ**

О применении нормативных документов при проведении обучения и аттестации специалистов неразрушающего контроля в ЗАО «Технический комитет «Спецмонтаж»..... 58

**ХРОНИКА**

XXII Международная конференция «Современные методы и средства неразрушающего контроля и технической диагностики» ..... 62

**ИЗДАНИЕ ПОДДЕРЖИВАЮТ:**

Технический комитет по стандартизации «Техническая диагностика и неразрушающий контроль» ТК-78

Украинское общество неразрушающего контроля и технической диагностики

# ТЕХНІЧНА ДІАГНОСТИКА і НЕРУЙНІВНИЙ КОНТРОЛЬ

# TEKHNICHESKAYA DIAGNOSTIKA і NERAZRUSHAYUSHCHIY KONTROL

Виходить 4 рази на рік

Quarterly issue

Головний редактор Б. Є. Патон

Editor-in-Chief B. E. Paton

## ЗМІСТ

## CONTENTS

### НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

### SCIENTIFIC-TECHNICAL

НЕДОСЕКА А. Я., НЕДОСЕКА С. А., МАРКАШОВА Л. І., АЛЕКСЕЄНКО Т. О. Дослідження методом акустичної емісії кінетики накопичення пошкоджень при руйнуванні матеріалів .....3

NEDOSEKA A. Ya., NEDOSEKA S.A., MARKASHOVA, L.I. ALEXEENKO T.A. Investigation by acoustic emission method of the kinetics of damage accumulation at fracture of materials ..... 3

ДАВИДОВ Є. О., ДЯДІН В. П., ШЕКЕРО А. Л. Про термінологічні особливості в позначеннях ультразвукових хвиль, що утворюються при першому критичному куті ..... 14

DAVYDOV E.A., DYADIN V.P., SHEKERO A.L. On terminological peculiarities of designation of ultrasonic waves formed at the first critical angle ..... 14

СУЧКОВ Г. М., ПЛЕСНЕЦОВ С. Ю., МЕЩЕРЯКОВ С. Ю., ЮДАНОВА Н. М. Нові розробки електромагнітно-акустичних перетворювачів (огляд) .....27

SUCHKOV G. M., PLESNETSOV S. Yu., MECHERIAKOV S. Yu., YUDANOVA N. N. New developments of electromagnetoacoustic transducers (review) ..... 27

### ВИРОБНИЧИЙ РОЗДІЛ

### INDUSTRIAL

КРИВОРУЧКО В. Т., НАВАЛЬНЄВ М. І. Автоматизація геодезичного моніторингу устаткування компресорних станцій .....35

KRIVORUCHKO V.T., NAVALNEV N.I. Automation of geodesic monitoring of compressor station equipment .....35

ВЕРЕНЕВ В. В., БАГЛАЙ А. В., БЕЛОДЕДЕНКО С. В. Особливості вібраційних вимірів в прокатних клітках .....43

VERENEV V.V., BAGLAI A.V., BELODEDENKO S.V. Features of vibration measurements in rolling stands ..... 43

БОНДАРЕНКО Ю. К., КОВАЛЬЧУК О. В. Ідентифікація ризиків при виробництві зварних конструкцій для впровадження ризик-менеджменту на підприємстві .....47

BONDARENKO Yu.K., KOVALCHUK O.V. Risk identification in fabrication of welded structures in order to introduce risk-management at the enterprise ..... 47

### ІНФОРМАЦІЯ

### INFORMATION

Про застосування нормативних документів при проведенні навчання та атестації спеціалістів неруйнівного контролю в ЗАТ «Технічний комітет «Спецмонтаж» .....58

On application of normative documents during training and certification of NDT specialists at CJSC «Tekhnicheskii Komitet «Spetsmontazh» .....58

### ХРОНІКА

### NEWS

XXII Міжнародна конференція «Сучасні методи та засоби неруйнівного контролю і технічної діагностики» .....62

XXII International Conference «Modern methods and equipment of non-destructive testing and technical diagnostics» .....62

#### Адреса редакції

03150, Україна, м. Київ, вул.Казимира Малевича, 11  
ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України  
Тел./Факс: (044) 200-82-77, 205-23-90  
E-mail: journal@paton.kiev.ua  
www.patonpublishinghouse.com

#### Address

The E. O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine,  
11, Kazimir Malevich str., 03150, Kyiv, Ukraine  
Tel./Fax: (38044) 200-82-77, 200-23-90  
E-mail: journal@paton.kiev.ua  
www.patonpublishinghouse.com

# ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ КИНЕТИКИ НАКОПЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ ПРИ РАЗРУШЕНИИ МАТЕРИАЛОВ

А. Я. НЕДОСЕКА, С. А. НЕДОСЕКА, Л. И. МАРКАШОВА, Т. А. АЛЕКСЕЕНКО

ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины. 03150, г. Киев, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Интенсивное применение акустической эмиссии в оценке состояния эксплуатирующихся конструкций приводит к необходимости дальнейшего развития методов, основанных на этом явлении, применительно к расчетам прочности контролируемого материала. Некоторые методики в этом направлении уже созданы, освоены и успешно используются при длительном мониторинговом контроле. Однако особенности условий эксплуатации конструкций, их разнообразие по формам и материалам, а также рост требований к точности и надежности оценок приводят к необходимости продолжения исследований в данном направлении. Особенно существенным это становится в настоящее время, когда большое значение начали приобретать системы непрерывного мониторинга технического состояния конструкций. Библиогр. 40, рис. 9.

*Ключевые слова:* акустическая эмиссия, пластическая деформация, методика оценки накопления повреждений, расчет прочности, мониторинг, разрушение

Анализируя акустическую эмиссию (АЭ), возникающую при разрушении материалов, исследователи пришли к выводу, что последняя связана с быстрой перестройкой структуры материалов в результате их деформации под воздействием возбуждающих полей. Данные, полученные с помощью АЭ, подтверждают это явление и позволяют оценивать изменения структуры материалов, возникающие в процессе деформирования либо эксплуатационной наработки. В материалах при этом образуются и накапливаются повреждения [1–29]<sup>1</sup>. В настоящее время оценка поврежденности используется как в расчетах прочности, так и в приближенных качественных оценках, где ожидается изменение структуры материалов под действием любых силовых или других полей [4, 5, 12, 30–38]. В связи со все увеличивающимся объемом применения акустической эмиссии для оценки состояния материалов конструкций встает вопрос о более строгом нормировании информации АЭ, возникающей при развитии разрушения. Современные способы представления АЭ информации существующей измерительной аппаратурой требуют оригинального подхода при ее применении и создания соответствующих методик для того, чтобы выделить из всего потока АЭ информации определенную часть, которая характеризует развитие разрушения и может быть нормирована по вполне определенным параметрам. Многолетние исследования в этом направлении позволили сформулировать такие параметры, дать им оценку существующими методами физического анализа и применить при диагностиче-

ском контроле состояния материалов конструкций в процессе эксплуатации.

На первом этапе исследований по применению АЭ для оценки состояния материалов на основе стандартов технической диагностики [26] была разработана методика построения параметров АЭ, которые могут быть использованы при создании необходимых алгоритмов контроля. На базе этой методики была доработана аппаратура ЕМА (Evaluation of Materials Ability), которая получила маркировку ЕМА 3.91 и позволила после специальной обработки сигналов АЭ получить вектор состояния материала (ВСМ) более широкого состава, различные комбинации которого строятся программой автоматически в зависимости от создавшейся в процессе разрушения ситуации. ВСМ включает следующие АЭ параметры.

### Измеренные параметры

1. Внешние силовые поля:  $P$  – текущая нагрузка, кг; давление, МПа;  $T$  – температура, °С.
2.  $A_c$  – суммарная амплитуда событий АЭ за время испытаний; характеризует общий объем образовавшихся повреждений, дБ.
3.  $N_c$  – накопленные в процессе разрушения события; характеризуют общее число повреждений, возникших за рассматриваемый промежуток времени; может не совпадать с  $O_c$ .
4.  $O_c$  – суммарное число повреждений в материале за рассматриваемый промежуток времени.

### Построенные параметры (на базе измеренных)

5.  $R_i(w)$  – время нарастания наибольшего в сумме событий АЭ сигнала или его длительность,

<sup>1</sup> Под повреждениями здесь понимаются любые изменения в структуре материалов. Динамическую составляющую этих изменений регистрирует акустическая эмиссия.

(мкс); характеризует упрочнение материала в процессе его деформирования.

6.  $A$  – максимальная амплитуда наибольшего в рассматриваемый момент времени события, дБ; условно характеризует объем образовавшегося дефекта.

7.  $A^2$  – характеризует энергию, затраченную на образование дефекта, (дБ)<sup>2</sup>.

8.  $A_{сум}^2$  – характеризует суммарную энергию, затраченную на разрушение образца, (дБ)<sup>2</sup>.

9.  $O$  – число осцилляций в событии АЭ; характеризуют количество повреждений, возникших в данный момент времени.

10.  $N$  – сумма событий в рассматриваемый момент времени; характеризует число дефектов, возникших в данный момент времени; может не совпадать с  $O_{сум}$ .

11.  $X$  – координата суммы событий, возникших в рассматриваемый момент времени.

Как видим, ВСМ состоит из параметров АЭ двух видов – параметры, претерпевшие специальную обработку для более наглядного с точки зрения принятия решения вида и параметры, непосредственно измеренные аппаратурой и позволившие завершить процедуру формирования ВСМ. Рассмотрим этот вопрос более подробно.

Для нормирования АЭ параметров были проведены специальные исследования с анализом методом металлографии материала образцов из стали X18H9 в соответствии с информацией АЭ, получаемой при испытаниях, и в зависимости от уровня пластической

деформации, возникающей в каждом исследуемом сечении (рис. 1). Спектрограмма исследования состава стали, принятой для исследований, подтвердила марку стали – X1H9 (рис. 2). Были выбраны специальные образцы, которые при растяжении на разрывной машине давали различную деформацию на разных участках образца. Это позволило на одном образце получить всю картину пластических деформаций, возникающих при его разрушении. Последнее важно еще и по той причине, что в значениях АЭ материалы настолько неоднородны, что получать среднее значение показателей АЭ в зависимости от количества образцов становится просто невозможным. В этом случае, как показал опыт работы, необходимы другие специальные методы обработки поступающей информации.

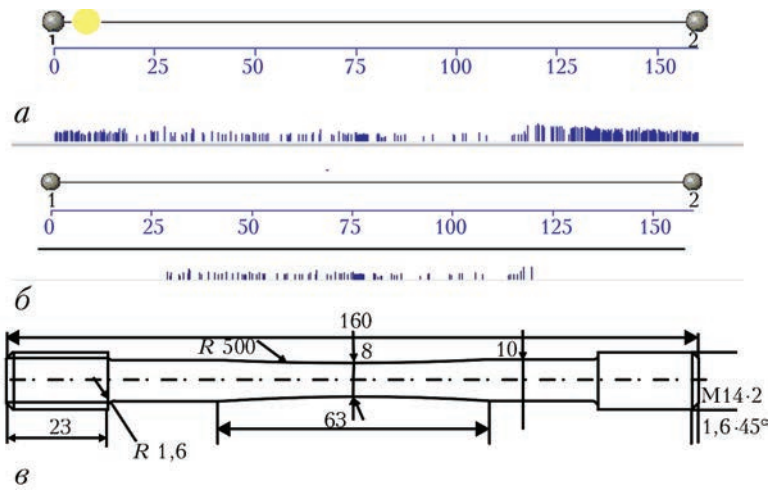


Рис. 1. Образец для проведения исследований с ослабленной областью 63 мм: а – распределение АЭ событий по всей длине образца; б – распределение событий АЭ на ослабленной части; в – конструкция образца

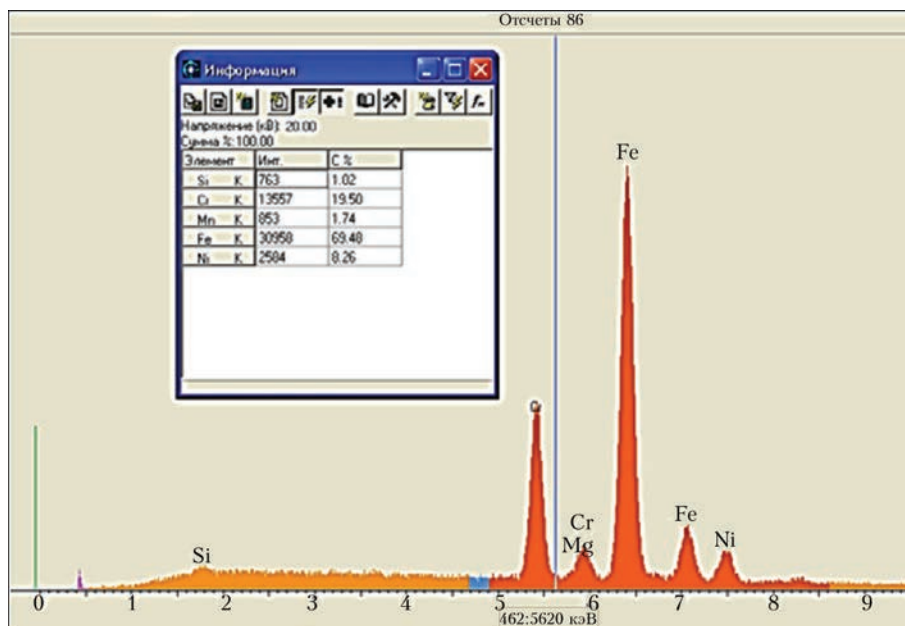


Рис. 2. Спектрограмма состава исследуемой стали



АЭ исследованиям подвергалась ослабленная область образца. В данном случае 63 мм. Изучалось распределение АЭ событий, накопившихся в выделенных для анализа зонах образца (кластерах) в процессе разрушения и их амплитуда (столбики по длине образца) (рис. 1, а-в) Картина АЭ активности представлена на рис. 3. Растяжение образца осуществлялось на разрывной машине с винтовым приводом. Это давало возможность получить полную деформацию образца в закритической области, что практически невыполнимо на машинах с гидравлическим приводом.

Анализируя графики рис. 2, можем видеть, что АЭ информация появляется сразу с началом разрушения. Каждое событие АЭ, прошедшее в указанное на оси абсцисс время, на графике отмечается ординатой амплитуды, дБ, ее координатой по длине образца мм (на графике черные точки); далее указывается время протекания события (силеневые столбики)  $w$ , мкс; сумма укрупненных событий на данный момент времени  $N$  (столби-

ки зеленого цвета) и сумма реальных событий  $O_c$  (темно синяя кривая); там же записан график текущей нагрузки (темно красная кривая), кг. Как видно из графика АЭ возникает в образце неравномерно, что говорит о сложной неоднородной структуре материала образца и наличии напряжений третьего рода, приводящих в движение имеющиеся в материале дефекты. Видно, что амплитуда событий АЭ и время их протекания все время меняются, показывая, что образуются повреждения различного размера, и их образование происходит за разные промежутки времени. Следует полагать, что в процессе деформирования осуществляется упрочнение материала (наклеп), что отражается на времени протекания процесса образования повреждения. Сам процесс накопления повреждений происходит неравномерно. Интересно отметить, что кривая накопления повреждений ( $O_c$ ) практически, с некоторыми отклонениями, повторяет кривую нагрузки. На графиках рис. 3, б) наблюдается та же закономерность, только в мень-

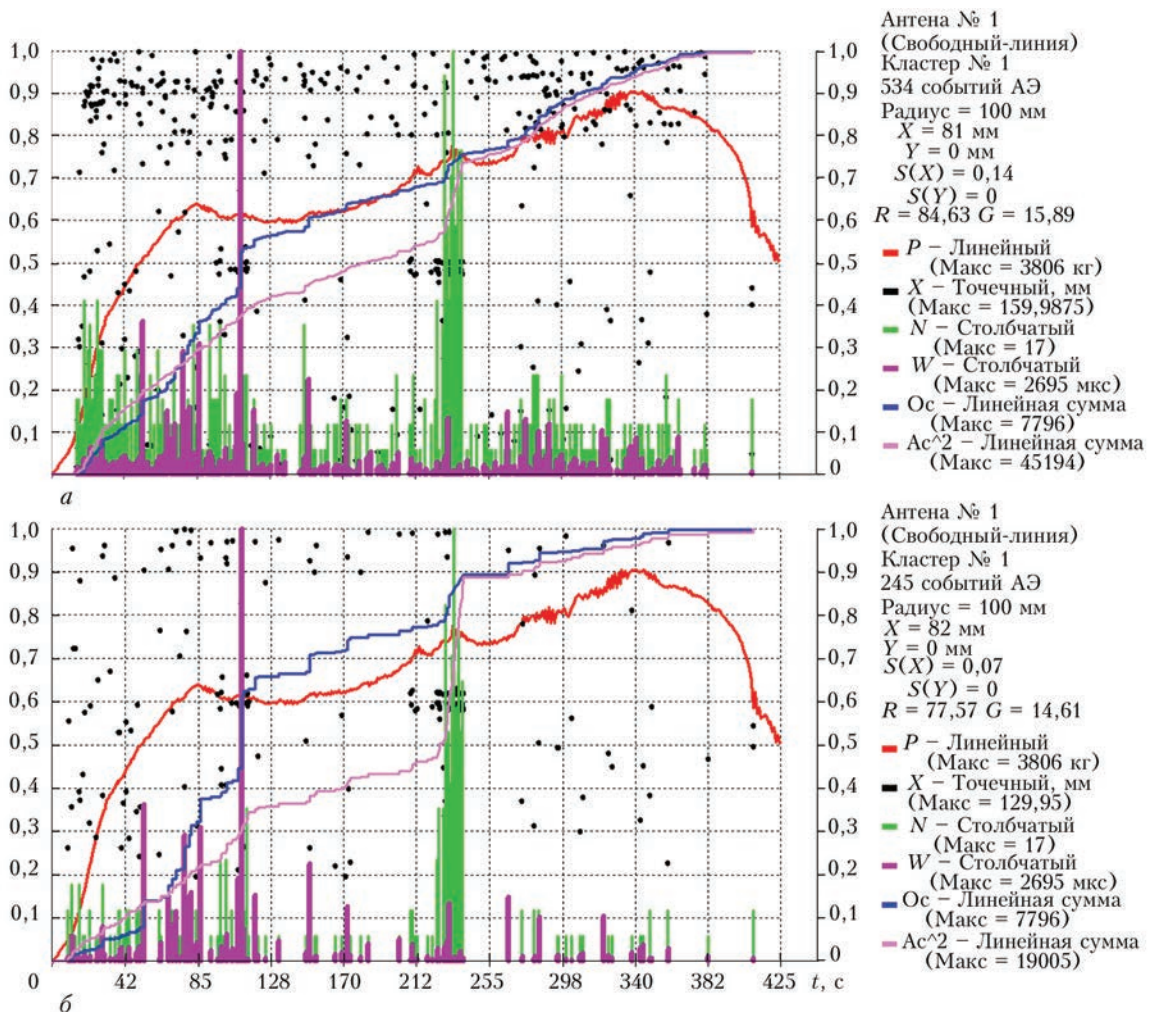


Рис. 3. Распределение АЭ информации в образце из стали X18H9, полученной прибором ЕМА3.91: а – по всему объему образца в зависимости от времени; область контроля 0...160 мм включает резьбовые соединения в захватах разрывной машины; б – в части области контроля 25...130 мм (выделена во избежание влияния на исследуемую часть образца АЭ информации, возникающей в резьбе). Значения всех параметров АЭ представлены в таблице справа. Обозначения соответствуют приведенным выше;  $S(X)$  – ошибка определения координаты  $X$ , мм



шем масштабе, в связи с более узкой областью сьема информации.

Рассмотрим более подробно все этапы деформирования образца в промежутке времени от начала нагружения до разрушения. Первый этап выделим по времени от 0 до 160 с. Как видно из рис. 3, б нагрузка круто растет (красная кривая). Через несколько секунд после начала нагружения появляются первые повреждения структуры (зеленые столбики). Повреждения появляются практически во всей контролируемой области (черные точки на графике). В конце этапа наблюдается сосредоточение повреждений в области самого малого диаметра образца. Количество повреждений в момент времени 105 с резко возрастает. Общее число повреждений также растет (темно синяя кривая на графике). Разные величины деформаций регистрирует время протекания АЭ события (сиреневые столбики на графике). Количественные значения нагрузки Р и АЭ параметров определяются путем умножения их максимальных величин, указанных в скобках таблицы с правой

стороны графика, на значение относительной величины на оси ординат. На следующем этапе от 160 до 200 с нагрузка растет незначительно, протекают пластические деформации, видно упрочнение металла (сиреневые столбики резко уменьшили свою величину). Количество повреждений увеличивается незначительно. Сами повреждения образуются за значительно меньший отрезок времени, чем на предыдущем этапе. Упрочнение материала продолжается. Второй всплеск роста количества повреждений (столбики зеленого цвета), сопровождающийся также резким подъемом энергии, затраченной на образование повреждений (розовая кривая), наблюдается в диапазоне 224...239 с. В этом случае они практически все сосредоточены в области формирующейся шейки, черные точки группируются в районе будущей шейки. Наблюдается дальнейшее упрочнение материала (темно синие столбики параметра  $w$ ). На этапе от 270 до 320 с нагрузка медленно растет. Размеры повреждений нестабильны. Сами повреждения начинают распределяться по всему

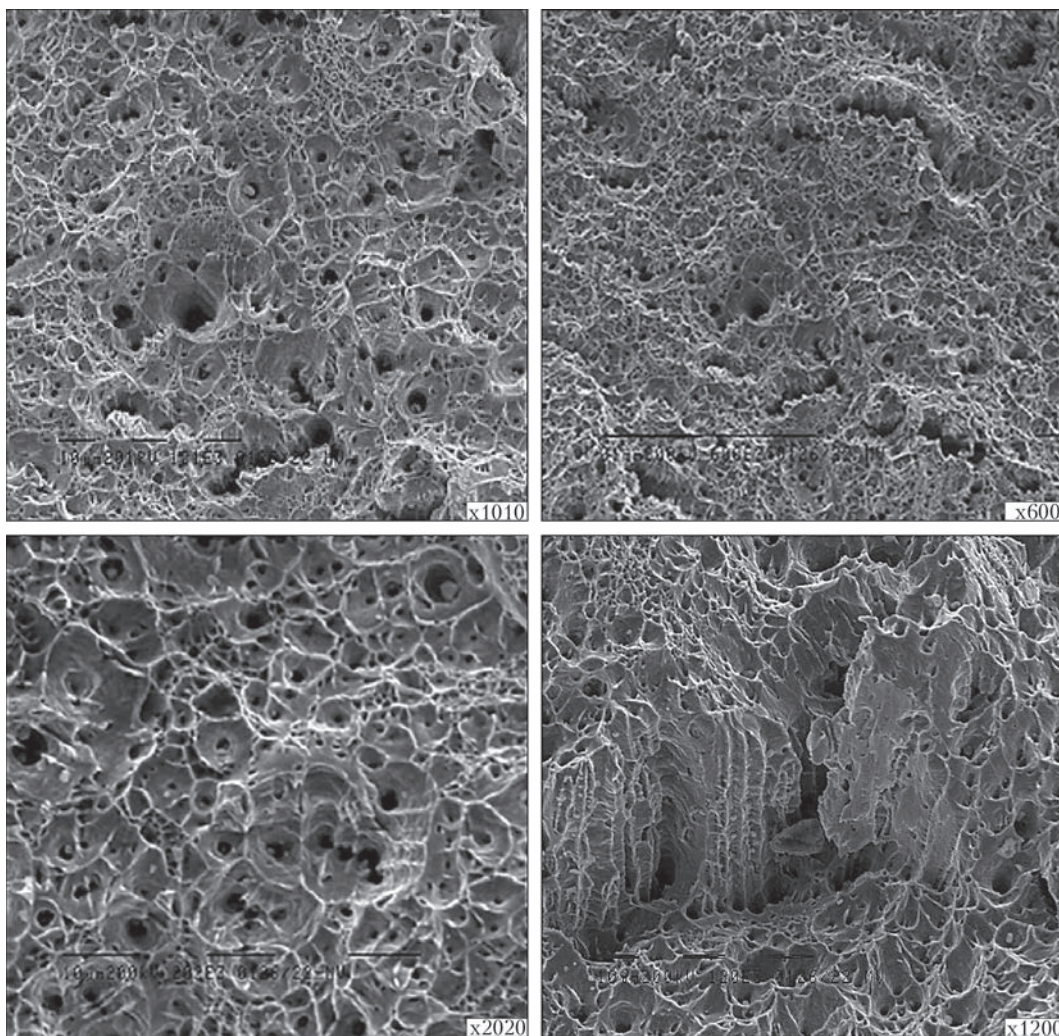


Рис. 4. Фрактограммы разрушенной поверхности образцов из стали X18H9 с многочисленными порами диаметром 1...12 мкм. Пластическая деформация в момент разрушения составила 100 %. Фрактограмма с увеличением  $\times 1200$  получена при съемке, когда поверхность среза была наклонена

объему деформируемого материала. Параметр  $w$  показывает, что жесткость образования повреждений увеличивается. Этап 320 до 413 с характеризует закритическую область разрушения. Здесь количество повреждений растет незначительно, жесткость их образования стабильно высокая, на 413 с происходит разрушение, сопровождающееся всего двумя событиями АЭ, что говорит о том, что в конечном счете стало достаточным образоваться двум дефектам, чтобы подготовленная всем предыдущим ходом разрушения самая слабая поверхность сечения образца разрушилась. Разрушенные поверхности образца насыщены громадным количеством повреждений в виде пор (рис. 4). Поры распределяются практически также по всему объему материала в районе шейки. Рис. 5, *a* показывает, что поры вышли на поверхность образца на достаточно большом удалении от места разрушения.

На следующем этапе исследований была проанализирована микроструктура материала в местах разрезки образца и сопоставлена с показаниями АЭ. Для подтверждения связи данных АЭ с реальной ситуацией в материале образца были проведены разрезы в местах, указанных АЭ и представленных на рис. 6, *a*. Для этой цели было проведено укрупнение расположения АЭ событий путем кластеризации. Кластеры были сделаны минимальными по размерам с тем, чтобы можно было более точно выбрать сечение в образце для последующего анализа. На рис. 6 представлена картина распределения реальных событий АЭ (*б*) и кластеризованных с радиусом 2 мм (*a*). Цифрами показаны координаты кластеров, где проводились вырезки.

Количество пор и их размеры растут с увеличением объема накапливаемой пластической деформации (*a-d*). Количество АЭ событий в каждом сечении показано на рис. 6, *a, e* – структура материала в предразрушающем состоянии.

Для сопоставления данных микроскопии и АЭ необходимо было определить пластические деформации, имеющие место в местах вырезок. Деформации определялись экспериментально по отклонениям диаметров образца в местах сечений от исходного. Таким образом были получены поперечные пластические деформации. Продольная составляющая их определялась в предположении, что коэффициент Пуассона в области пластических деформаций с достаточной для практических расчетов точностью может быть принят равным 0,5. Таким образом продольные пластические деформации определялись простым ум-

ножением поперечных на 2 [39]. Продольные пластические деформации вдоль образца, полученные экспериментальным путем представлены на рис. 5, *б*). Треугольниками показаны данные эксперимента, сплошная кривая построена по эмпирической формуле  $\varepsilon_x^* = \exp(-0,05^2 x^2)$ .

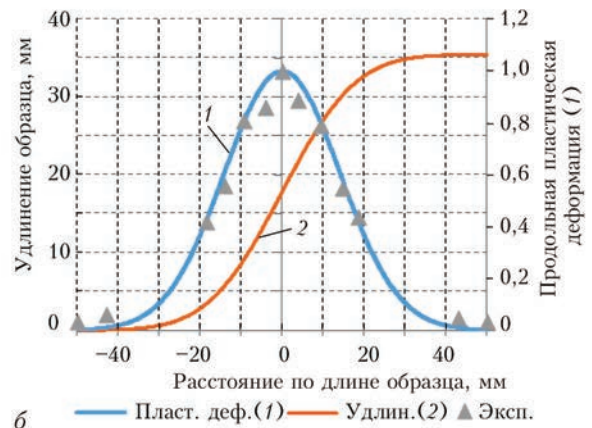


Рис. 5. Фотография образца с порами, вышедшими на его поверхность (*a*); Распределение продольной пластической деформации по длине образца из стали X18H9 и его удлинение (*б*).

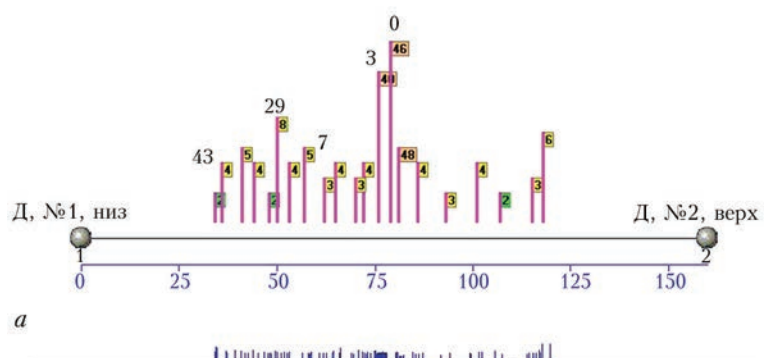


Рис. 6 Координаты кластеров АЭ событий под которыми проводились разрезы для анализа структуры материала образца из стали X18H9 методами металлогрфии (показаны цифрами над каждым столбиком-кластером, цифры на флажках показывают число событий в кластере) (*a*), амплитуды некластеризованных АЭ событий, (*б, в*) разрушенный образец, (*г*) исходный образец с ослабленной частью протяженностью  $\pm 31,5$  мм по обе стороны от центра



Величина общего остаточного удлинения образца получена путем интегрирования кривой на рис. 5, б вдоль оси  $x$  в пределах  $\pm 50$  мм и составила  $\Delta l = 35,5$  мм. Простое измерение удлиненно-го образца показало  $\Delta l = 37$  мм.

Фрактограммы на рис. 4 показывают, что разрушение произошло в результате уменьшения активной площади поперечного сечения образца за счет образовавшихся многочисленных пор. Фрактограммы разрушенной поверхности всех испытанных образцов типичны и насыщены большим количеством пор (рис. 4, а–г). Оптическая микроскопия (рис. 7)

подтверждает механизм разрушения данного материала путем образования и накопления пор.

Формирование повреждений, и, в частности пор, как показывают графики рис. 3, происходит задолго до момента разрушения. На рис. 7 представлены микроструктуры материала стали X18H9 при разных величинах пластической деформации, имеющей место в вырезанных для исследований сечениях. Видно, что постепенно структура материала претерпевает изменения, появляются в структуре сначала небольшие поры, затем количество пор растет вместе с ростом их объема, что подтверждается данными АЭ изме-

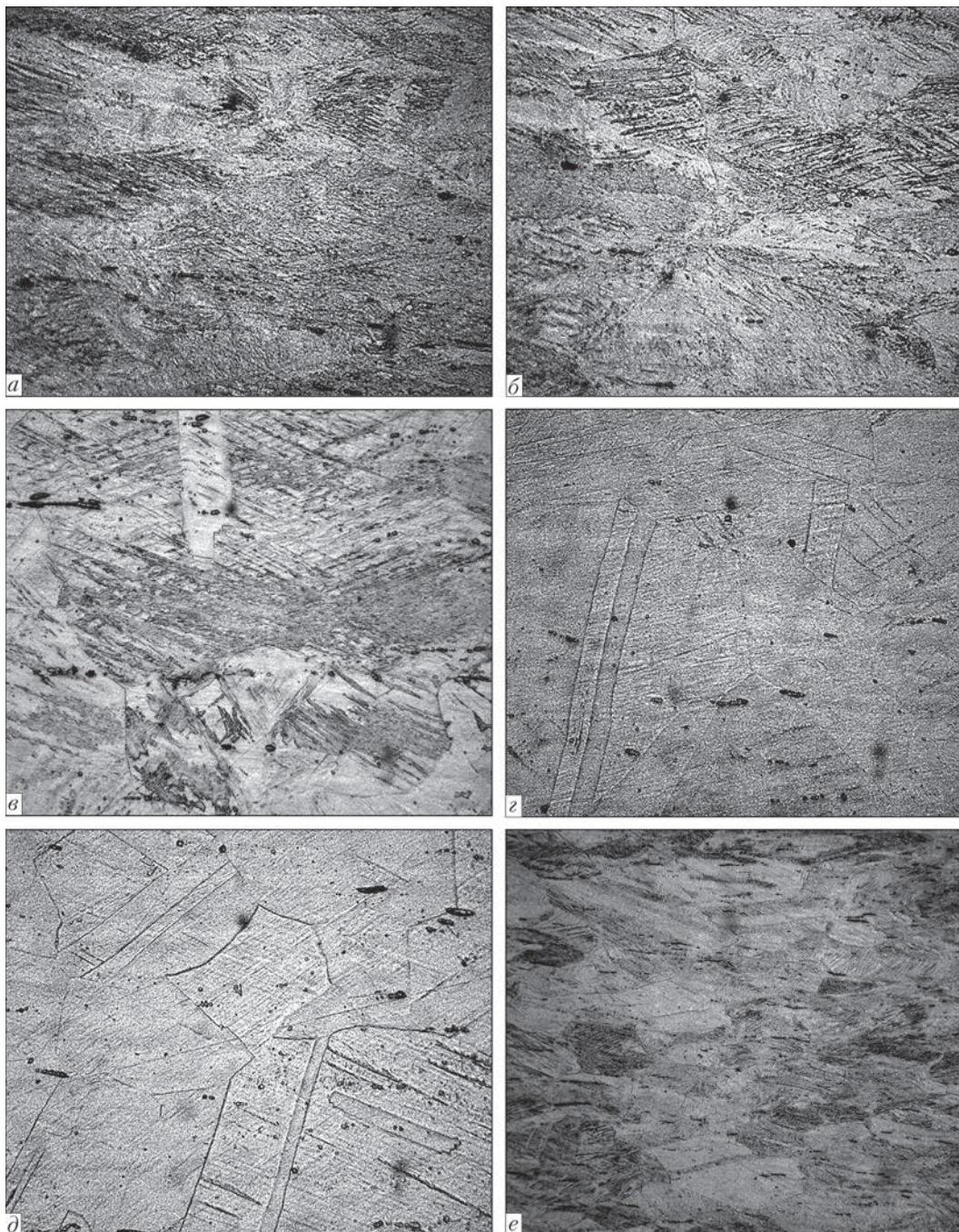


Рис. 7. Изменение структуры ( $\times 500$ ) стали X18H9 на расстоянии  $x$  (мм) от места разрушения до анализируемого сечения под действием пластических деформаций: а – 98 % ( $x = 3$ ); б – 87 ( $x = 7$ ); в – 11,9 ( $x = 29$ ); г – 2 ( $x = 43$ ); д – 1,7 ( $x = 50$ ); е – при увеличении 156 в более широком поле видны многочисленные поры в структуре ( $x = 3$ ).



рений. С дальнейшим увеличением деформации поры сливаются и происходит разрушение (рис. 4, 7). Кинетика накопления повреждений также хорошо иллюстрируют графики рис. 3. Таким образом, разработанная методика и аппаратура позволяют достаточно наглядно судить о процессах разрушения, происходящих в материале при его нагружении, оценивать характеристики этого процесса.

На рис. 8 показаны повреждения в структуре стали 12Х1МФ при увеличении 500. Показана также более тонкая, изменяющаяся с увеличением пластических деформаций картина полей дислокаций (увеличение 14000). Видно, что с увеличением объема пластических деформаций потоки дислокаций перестраиваются, происходит их движение с подготовкой к образованию и образованием микротрещин, превращающихся далее в поры. Как видим, даже незначительные деформации приводят к появлению многочисленных микротрещин и, в первую очередь, в менее прочных зернах феррита. С ростом пластических деформаций наблюдается все более выраженное сосредоточение дислокаций в отдельных микрообъемах материала и увеличение их количества. Структура материала постепенно накапливает повреждения вплоть до образования сначала микро, а затем и макропор. Сосредоточение дислокаций неравномерно. Это, по всей вероятности, связано с наличием напряжений третьего рода, уравновешенных в области группы кристаллов. При этом, достаточ-

но небольших внешних усилий, чтобы местные напряжения превзошли предел текучести материала и началось перемещение дислокаций даже на начальных стадиях деформирования.

Достаточно сложная картина распределения АЭ событий фиксируется в более сложных по геометрии конструкциях, когда источников разрушения становится значительно больше, чем в простых случаях. Так, на рис. 1, *а* представлена АЭ информация, поступающая с образца сложной конфигурации. Здесь появился поток АЭ событий с резьбовой части образца. Резьба является концентратором напряжений и вызывает достаточно большой по сравнению с гладкой частью поток событий, характеризующих процессы разрушения в этой части образца. Для наглядности на рис. 3, *б* выделена более узкая область контроля (ослабленная часть конструкции образца). Здесь АЭ информации значительно меньше. И поскольку интерес представляет именно эта часть образца (резьба относится к средству крепления образца в захватах разрывной машины), то простое выделение данной зоны контроля позволяет провести более качественный анализ.

Представленные на рис. 7 исследования структуры металла были проведены в местах образца сечения, показанных на рис. 6, *а*. Исследования микроструктуры выполнялись при увеличении 500. Шлифы для исследований изготавливались по методике Института электросварки им. Е. О.

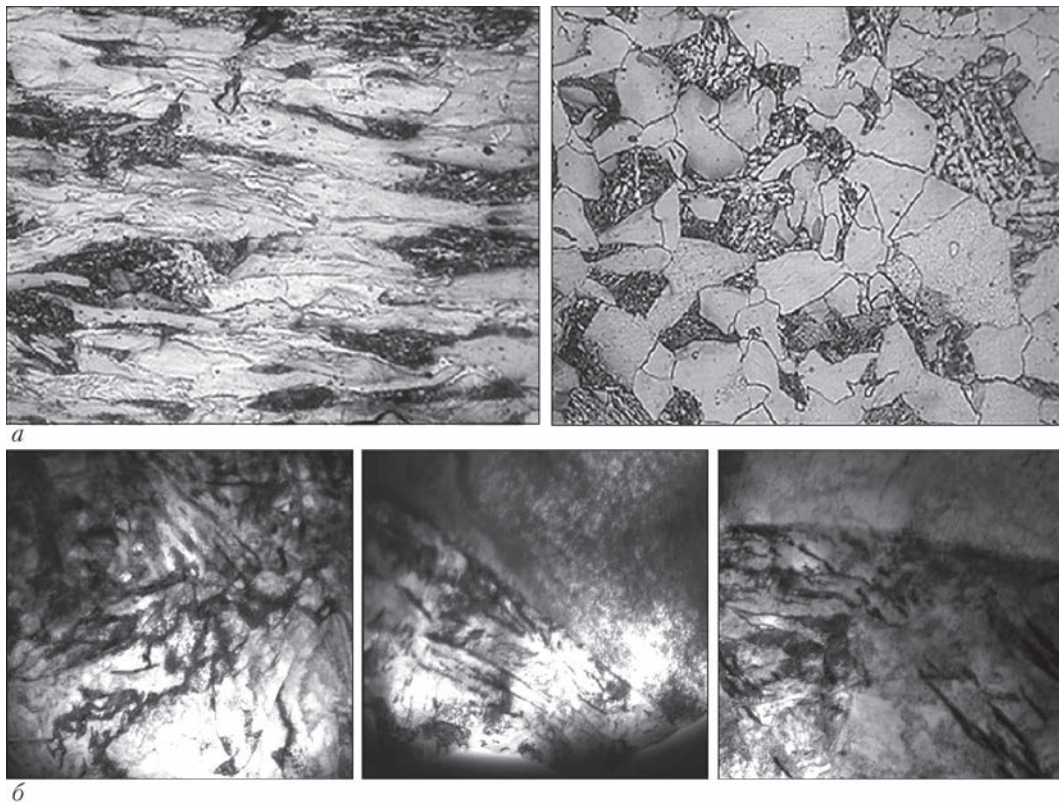


Рис. 8. Изменение микроструктуры стали 12Х1МФ (*а*) и картины полей дислокаций в зависимости от величины пластической деформации (*б*) (увеличение 500 и 14000, соответственно)

Патона НАН Украины. Все это фиксирует и наглядно представляет АЭ (рис. 3, а, б).

Рассмотрим с применением разработанной технологии более подробно кинетику развития разрушений образца сосредоточенных в области с координатой  $79 \pm 4$  мм (место, где постепенно образовалась шейка и произошло разрушение). На рис. 9 приведена картина развития процесса разрушения при растяжении образца. Анализируя графики рис. 9, можно сделать вывод, что повреждения на рассматриваемом участке образца начинают появляться с началом нагружения. В диапазоне 85...100 с количество дефектов возрастает (зеленые столбики). Упрочнение материала и препятствие образованию дефектов происходит неравномерно (бордовые точки на графике). Дальнейшее увеличение деформации приводит к образованию незначительного количества дефектов. В диапазоне времени 212...230 с резко увеличивается количество дефектов. Энергия, затраченная на образование дефектов, представляющая собой сумму затрат энергии на образование отдельных повреждений, растет (розовая кривая на графике). Координаты мест возникновения дефектов в интересующей нас области сосредотачиваются в пределах, заданных границами контроля ( $79 \pm 4$  мм). Последующий медленный рост нагрузки (красная кривая) показывает, что в материале протекает пластическое течение. Из графика видно, что новых дефектов после 255 с немного, происходит медленное увеличение их размеров, что подтверждается незначительными импульсными изменениями нагрузки в этой области. В момент времени, равный 353 с, появляется последнее АЭ

событие, фиксирующее образование последнего нового дефекта. Далее металл входит в критическую область деформирования и происходит разрушение образца. В конечном счете, как показали испытания, к разрушению образца привели повреждения, образовавшиеся в процессе его деформирования, и развившиеся в металле поры. Всего в образце АЭ зарегистрировала 3993 повреждения структуры. Из них 315 накапливались в области шейки (рис. 3, б и рис. 9, пятые позиции в таблице значений с правой стороны). Последнее достаточно наглядно подтверждается фрактограммами поверхности разрушения, приведенными на рис. 4. Следует отметить, что на графиках рис. 9 в районе шейки достаточно наглядно выделяются по времени две области возникновения дефектов – в начале нагружения примерно от 20 по 100 с и с 212 по 230 с. Это указывает на неравномерный и отличающийся по своим характеристикам процесс развития разрушения в материалах. В то же время можно видеть, что между этими двумя периодами существуют области, где АЭ не фиксирует развитие дефектов. Выше было сказано, что АЭ фиксирует лишь динамическую составляющую развивающегося события. Анализируя кривую нагрузки (красная кривая) можно наблюдать незначительные, сигнализирующие о возникновении и росте относительно вязких не столь быстро образующихся повреждений. По указанным выше причинам они не были зарегистрированы АЭ.

Таким образом, применение технологии АЭ и чувствительных приборов для регистрации дополнительных низкочастотных параметров, например нагрузки, температуры и других, необходимых для

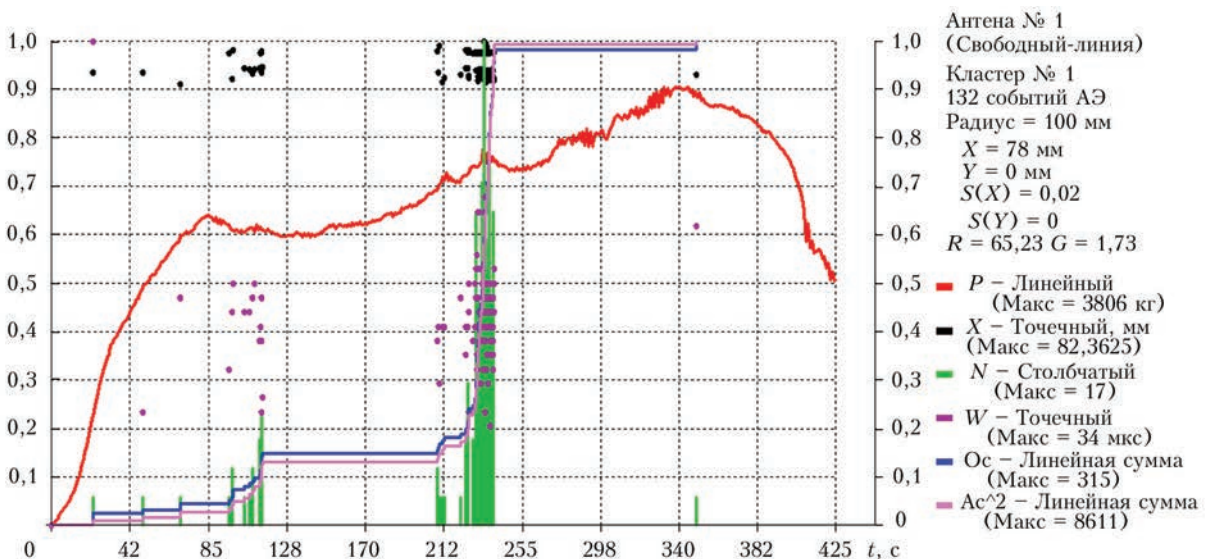


Рис. 9. Распределение событий АЭ в области разрушения образца из стали X18H9 с координатой  $79 \pm 4$  мм (черные точки). Видно, что накопление повреждений в материале образца происходит при различном сопротивлении материала их образованию (точки сиреневого цвета). Показана энергия, затраченная на образование зарегистрированных АЭ повреждений, возникших в процессе разрушения образца (розовая кривая). Синяя кривая показывает кинетику суммирования повреждений в материале образца от начала растяжения. Красная кривая – нагрузка



принятия решения параметров, и соответствующего анализа получаемых данных достаточно полно и наглядно описывает состояние материалов в процессе развития разрушения. Нужно еще раз отметить, что указанные параметры, фиксирующие эти процессы, должны входить в состав ВСМ.

Необходимо также иметь в виду, что распространение методики АЭ на работающие конструкции иногда приводит к необходимости устанавливать АЭ датчики в местах, где в силу тех или иных причин невозможно выполнить требования нормативных материалов по контролю. Особенно часто это относится к конструкциям, работающим при высоких температурах, где наличие изоляции и других средств защиты от теплового воздействия не дает возможности применить стандартные методики контроля. В этих случаях получить необходимую и достаточную для анализа информацию бывает трудно [40]. Тогда для повышения достоверности принятых решений приходится привлекать дополнительные методы контроля, включая измерение и анализ повреждений, накопленных за время эксплуатации конструкции.

### Выводы

1. Рассмотрена использующая явление акустической эмиссии методика оценки накопления повреждений, возникающих в материалах при их разрушении. Методика опирается на ситуативную комбинацию составляющих вектора состояния материала (ВСМ). Показана также возможность приближенного нормированного АЭ анализа характера самого процесса разрушения.

2. Испытания показали высокую чувствительность метода АЭ к накоплению повреждений на всех стадиях деформирования. Информация о накоплении повреждений поступает в контролируемую аппаратуру практически непрерывно в процессе проведения испытаний.

3. Для решения поставленной задачи – оценки накопления повреждений на основе данных АЭ, проведено расширение ВСМ за счет введения новых прямых и построенных алгоритмом программы низкочастотных и АЭ параметров, позволивших провести исследование состояния материала, указанное в п. 1.

4. Показано, что состав ВСМ и его достаточность существенно влияют на конечный результат оценки состояния материала конструкций.

5. Выполнена оценка разработанной методики физическими методами исследований изменения структуры аустенитной стали X18H9 и ранее [17, 18] ферритно-перлитной стали 12X1MФ в процессе разрушения. Оценка показала удовлетворительные результаты.

6. Полученные результаты дают возможность по данным АЭ создать исходную картину порооб-

разования в материалах при их разрушении и построить на ее основе компьютерную модель, описывающую этот процесс. Последнее повышает точность и надежность существующей методики прогнозирования разрушения материалов.

### Список литературы

- Balderston H. L. (1971) The broad range detection of incipient failure using the acoustic emission phenomena. *A symposium presented at the December Committee Week American Society for Testing and Materials. Bal Harbour, 7–8 December*, pp. 297–317.
- Stone D. E., Dingwall P. F. (1977) Acoustic Emission parameters and their interpretation. *NDT international*, **10**, 51–56.
- Gillis P. P. (1971) *Dislocation motions and acoustic emission. A symposium presented at the December Committee Week American Society for Testing and Materials. Bal Harbour, 7–8 December*, pp. 20–29.
- Nakamura Yosio, Veach C. L., McCauley B. O. (1971) *Amplitude distribution of acoustic emission signals. A symposium presented at the December Committee Week American Society for Testing and Materials. Bal Harbour, 7–8 December*, pp. 164–186.
- Nishinoiri S., Enoki M., Tomita K. (2002) Evaluation of Microfracture Mode in Ceramic Coating during Thermal Cycle Test using Laser AE Technique. *Materials Transactions*, **45-1**, 92–101.
- Tetelman A. S., Chow R. (1971) *Acoustic emission testing and micro cracking processes. A symposium presented at the December Committee Week American Society for Testing and Materials. Bal Harbour, 7–8 December*, pp. 30–40.
- Андрейкив А. Е., Лысак Р. В. (1989) *Метод АЭ в исследовании процессов разрушения*. Киев, Наукова думка.
- Березина Т. Г. (1985) Исследование закономерностей развития разрушения при ползучести теплоустойчивых сталей. *Пробл. прочности*, **8**, 48–52.
- Березина Т. Г., Бугай Н. В., Трунин И. И. (1991) *Диагностирование и прогнозирование долговечности металла теплоэнергетических установок*. Киев, Эхника.
- Бриджмен Н. (1955) *Исследование больших пластических деформаций и разрыва*. Москва, Изд-во иностр. лит.
- Векслер Е. Я., Заплотинский И. А., Замекула И. В. Толстов В. Ю. (2007) Техническое диагностирование трубной системы подогревателей высокого давления блоков мощностью 100...300 МВт в процессе длительной эксплуатации. *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*, **2**, 17–20.
- Лебедев А. А., Чаусов Н. Г. (1988) *Экспресс-метод оценки трещиностойкости пластичных материалов*. Киев, АН УССР, препринт.
- Минц И. И., Березина Т. Г., Ходыкина Л. Е. (1974) Исследование тонкой структуры и процесса образования пор в стали 12X1MФ при ползучести. *Физика металлов и металловедение*, **37**, **4**, 823–876.
- Назарчук З. Т., Скальский В. Р. (2009) *Акустико-емісійне діагностування елементів конструкцій. Науково-технічний посібник. Т. 1, 2, 3*. Київ, Наукова думка.
- Недосека А. Я. (2008) *Основы расчета и диагностики сварных конструкций*. Патон Б. Е. (ред.). Киев, Индпром.
- Недосека А. Я., Недосека С. А. (2014) Некоторые особенности применения метода акустической эмиссии при контроле разрушения материалов. *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*, **2**, 3–11.
- Недосека А. Я., Недосека С. А., Маркашова Л. И., Кушнарєва О. С. (2017) О накоплении повреждений в материалах. *Там же*, **3**, 3–13.
- Недосека А. Я., Недосека С. А., Маркашова Л. И., Кушнарєва О. С. (2016) О распознавании изменений структуры материалов при разрушении по данным акустической эмиссии. *Там же*, **4**, 9–13.
- Недосека С. А. (1992) Метод акустической эмиссии как эффективное средство для исследования кинетики разрушения материалов на стадиях зарождения и развития трещин (Обзор). *Там же*, **3**, 26–34.

20. Недосека С. А. (2007) Прогноз разрушения по данным акустической эмиссии. *Там же*, **2**, 3–9.

21. Недосека А. Я., Недосека С. А., Яременко М. А. и др. (2013) Программное обеспечение систем АЭ диагностики ЕМА-3.9. *Там же*, **3**, 16–22.

22. Скальский В. Р. (2003) Оцінка накопичення об'ємної пошкодженості твердих тіл за сигналами акустичної емісії. *Там же*, **4**, 29–36.

23. Скальський В. Р., Мокрий О. М. (2018) Оценка поврежденности ферритно-перлитной стали по величине изменения скорости продольной акустической волны. *Там же*, **1**, 3–7.

24. Стрижало В. О., Стасюк С. З. (2015) Експертна оцінка технічного стану технологічних трубопроводів с водневмістним середовищем. *Там же*, **4**, 7–13.

25. Стасюк С. З. (2018) Контроль технического состояния технологических трубопроводов при длительной эксплуатации в водородосодержащей рабочей среде. *Там же*, **1**, 8–20.

26. *Техническая диагностика. Термины и определения. ГОСТ 20911-89.*

27. Чаусов Н. Г., Недосека С. А., Лебедев А. А. (1993) Исследование кинетики разрушения сталей на заключительных стадиях деформирования методом акустической эмиссии. *Проблемы прочности*, **12**, 14–21.

28. Черепанов Г. П. (1990) Квантовая механика разрушения. *Там же*, **2**, С. 3–9.

29. (2015) 68-я ежегодная ассамблея международного института сварки IIW-2015. Хельсинки. Финляндия. *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*, **4**, 58.

30. Васильев О. С., Грузд А. А., Йолкін А. О. та ін. (2012) 10-річний досвід впровадження безперервного акустико-емісійного моніторингу сховищ аміаку Одеського припортового заводу. *Хімічна промисловість України*, **3**, 43–52.

31. Hartbower C. E., Reuter W. G., Morais C. F., Crimmins P. P. (1971) Use of acoustic emission for the detection of weld and stress corrosion cracking. *A symposium presented at the December Committee Week American Society for Testing and Materials. Bal Harbour, 7–8 December*, pp. 187–221.

32. Paton B. E., Nedoseka A. J. (1999) Diagnostic of designs and safety of an environment. *The Report on International conference «The Human factor and environment» International Institute of Welding, July 19–20 1999 z., Lisbon, Portugal.*

33. Kishi T., Jhtsu M., Yuyama S. (2000) Eds. *Acoustic Emission – Beyond the Millennium*, Elsevier Science Ltd.

34. Бигус Г. А., Стрелков П. Б. (2005) Исследование акустико-эмиссионных сигналов при деформировании и разрушении образцов из стали 22К. *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*, **1**, 10–15.

35. Лебедев А. А., Недосека С. А., Музыка Н. Р., Волчек Н. Л. (2003) Оценка состояния металла труб после длительной эксплуатации в системе магистральных газопроводов. *Там же*, **2**, 3–8.

36. Недосека С. А., Недосека А. Я. (2005) Диагностические системы семейства «ЕМА». Основные принципы и особенности архитектуры (Обзор). *Там же*, **3**, 20–26.

37. Патон Б. Е., Лобанов Л. М., Недосека А. Я. и др. (2014) О применении АЭ технологии при непрерывном мониторинге трубопроводов энергетических комплексов, работающих при высокой температуре. *Там же*, **3**, 7–14.

38. Патон Б. Е., Лобанов Л. М., Недосека А. Я. и др. (2016) Интеллектуальные технологии в оценке состояния конструкций. АЭ технология и контролирующая аппаратура нового поколения на ее основе. *Там же*, **2**, 3–18.

39. Малинин Н. Н. (1968) *Прикладная теория пластичности и ползучести*. Пономарев С. Д. (ред.). Учебник для студентов втузов. Москва, Машиностроение.

40. Недосека А. Я., Недосека С. А., Яременко М. А., Овсиенко М. А. (2018) О применении технологии акустико-эмиссионного контроля при оценке состояния сосудов химического производства. *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*, **1**, 34–41.

References

1. Balderston H. L. (1971) The broad range detection of incipient failure using the acoustic emission phenomena. *A symposium presented at the December Committee Week American Society for Testing and Materials. Bal Harbour, 7–8 December*, pp. 297–317.

2. Stone D. E., Dingwall P. F. (1977) Acoustic Emission parameters and their interpretation. *NDT international*, **10**, 51–56.

3. Gillis P. P. (1971) *Dislocation motions and acoustic emission. A symposium presented at the December Committee Week American Society for Testing and Materials. Bal Harbour, 7–8 December*, pp. 20–29.

4. Nakamura Yosio, Veach C. L., McCauley B. O. (1971) *Amplitude distribution of acoustic emission signals. A symposium presented at the December Committee Week American Society for Testing and Materials. Bal Harbour, 7–8 December*, pp. 164–186.

5. Nishinoiri S., Enoki M., Tomita K. (2002) Evaluation of Microfracture Mode in Ceramic Coating during Thermal Cycle Test using Laser AE Technique. *Materials Transactions*, **45-1**, 92–101.

6. Tetelman A. S., Chow R. (1971) *Acoustic emission testing and micro cracking processes. A symposium presented at the December Committee Week American Society for Testing and Materials. Bal Harbour, 7–8 December*, pp. 30–40.

7. Andrejkiv, A.E., Lysak, R.V. (1989) *EA method in investigation of failure processes*. Kiev, Naukova Dumka [in Russian].

8. Berezina, T.G. (1985) Investigation of regularities of fracture development at creep of thermally-stable steels. *Problemy Prochnosti*, **8**, 48–52 [in Russian].

9. Berezina, T.G., Bugaj, N.V., Trunin, I.I. (1991) *Diagnostics and prediction of fatigue life of metal of heat power plants*. Kiev, Tekhnika [in Russian].

10. Bridgman, P. (1955) *Investigation of high plastic deformations and rupture*. Moscow, Izd-vo Inostr. Lit. [in Russian].

11. Veksler, E.A., Zaplotinskii, I.A., Zamekula, I.V., Tolstov, V.Yu. (2007) Technical diagnostics of the piping of high-pressure heaters of 100-300 mW blocks during long-term operation. *Tekh. Diagnost. i Nerazrush. Kontrol*, **2**, 17–20 [in Russian].

12. Lebedev, A.A., Chaurov, N.G. (1988) *Express method for evaluation of crack resistance of ductile materials*. Kiev, NASU [in Russian].

13. Mints, I.I., Berezina, T.G., Khodykina, L.E. (1974) Examination of fine structure and process of pore formation in 12Kh1MF steel at creep. *Fizika Metallov i Metallovedenie*, **37(4)**, 823–876 [in Russian].

14. Nazarchuk, Z.T., Skalskii, V.R. (2009) *Acoustic emission diagnostics of structural elements*. In: *Sci.-Techn. refer. book. Vol. 1, 2, 3*. Kiev, Naukova Dumka [in Ukrainian].

15. Nedoseka, A.Ya. (2008) *Principles of design and diagnostics of welded structures*. Ed. by B.E. Paton. Kiev, Indprom [in Russian].

16. Nedoseka, A.Ya., Nedoseka, S.A. (2014) Features of application of acoustic emission method at destructive testing of materials. *Tekh. Diagnost. i Nerazrush. Kontrol*, **2**, 3-11 [in Russian].

17. Nedoseka, A.Ya., Nedoseka, S.A., Markashova, L.I., Kushnareva, O.S. (2017) Accumulation of damages in materials during fracture. *Ibid.*, **3**, 3–13 [in Russian].

18. Nedoseka, A.Ya., Nedoseka, S.A., Markashova, L.I., Kushnareva, O.S. (2016) On identification of structural changes in materials at fracture by acoustic emission data. *Ibid.*, **4**, 9-13 [in Russian].

19. Nedoseka, S.A. (1992) Method of acoustic emission as an effective means of material fracture kinetics at the stages of crack initiation and propagation (Review). *Ibid.*, **3**, 26–34 [in Russian].

20. Nedoseka, S.A. (2007) Forecasting the fracture by the data of acoustic emission. *Ibid.*, **2**, 3-9 [in Russian].

21. Nedoseka, A.Ya. (2013) Software of AE diagnostic systems ЕМА-3.9. *Ibid.*, **3**, 16–22 [in Russian].



22. Skalsky, V.R. (2003) Evaluation of accumulation of bulk damage in solids, based on acoustic emission signals. *Ibid.*, **4**, 29–36 [in Ukrainian].
23. Skalskii, V.R., Mokrii, O.M. (2018) Evaluation of damage level in ferritic-pearlitic steels by the value of the change of longitudinal acoustic wave velocity. *Ibid.*, **1**, 3–7 [in Russian].
24. Strizhalo, V.O., Stasjuk, S.Z. (2015) Expert evaluation of technical condition of process piping with hydrogen-containing media. *Ibid.*, **4**, 7–13 [in Ukrainian].
25. Stasyuk, S.Z. (2018) Monitoring the technical condition of process piping at long-term operation in hydrogen-containing working medium. *Ibid.*, **1**, 8–20 [in Russian].
26. *Technical diagnostics. Terms and definitions. GOST 20911-89* [in Russian].
27. Chausov, N.G., Nedoseka, S.A., Lebedev, A.A. (1993) Acoustic emission investigation of the kinetics of steel fracture at final stages of deformation. *Problemy Prochnosti*, **12**, 14–21 [in Russian].
28. Cherepanov, G.P. (1990) Quantum fracture mechanics. *Ibid.*, **2**, 3–9 [in Russian].
29. 68th Annual Assembly of the International Institute of welding – IIW 2015. *Ibid.*, **4**, 58 [in Russian].
30. Vasiliev, O.S., Gruzd, A.A., Yolkin, A.O. et al. (2012) 10 years of experience of introduction of continuous acoustic emission monitoring in ammonia storages at Odessa port plant. *Khimichna Promyslovisť Ukrainy*, **3**, 43–52 [in Ukrainian].
31. Hartbower, C. E., Reuter, W. G., Morais, C. F, Crimmins, P. P. (1971) Use of acoustic emission for the detection of weld and stress corrosion cracking. In: *Proc. of Symposium presented at the December Committee Week American Society for Testing and Materials (Bal Harbour, 7–8 December)*, 187–221.
32. Paton, B. E., Nedoseka, A. J. (1999) Diagnostics of designs and safety of an environment. In: *Report on Int. Conf. on The Human Factor and Environment, IIW (July 19–20 1999, Lisbon, Portugal)*.
33. Kishi, T., Jhtsu, M., Yuyama, S. (2000) Eds. *Acoustic Emission – Beyond the Millennium*, Elsevier Science Ltd.
34. Bigus, G.A., Strelkov, P.B. (2005) Investigation of acousto-emission signals in deformation and fracture of samples of steel 22K. *Tekh. Diagnost. i Nerazrush. Kontrol*, **1**, 10–15 [in Russian].
35. Lebedev, A.A., Nedoseka, S.A., Muzyka, N.R., Volchek, N.L. (2003) Evaluation of the condition of pipe metal after long-term operation in the main gas pipeline system. *Ibid.*, **2**, 3–8 [in Russian].
36. Nedoseka, S.A., Nedoseka, A.Ya. (2005) Diagnostic systems of EMA family. Main principles and architectural features (Review), *Ibid.*, **3**, 20–26 [in Russian].
37. Paton, B.E., Lobanov, L.M., Nedoseka, A.Ya. et al. (2014) On application of AE technology at continuous monitoring of piping of power units operating at high temperature. *Ibid.*, **3**, 7–14 [in Russian].
38. Paton, B.E., Lobanov, L.M., Nedoseka, A.Ya. et al. (2016) Smart technologies for evaluation of structure state (AE technologies and new generation control equipment on its basis). *Tekh. Diagnost. i Nerazrush. Kontrol*, **2**, 3–18 [in Russian].
39. Malinin, N.N. (1968) *Applied theory of plasticity and creep*. In: *Manual for students of higher education institutes*. Ed. by S.D. Ponomarev. Moscow, Mashinostroenie [in Russian].
40. Nedoseka, A.Ya., Nedoseka, S.A., Yaremenko, M.A., Ovsienko, M.A. (2018) Application of the technology of acoustic emission monitoring at evaluation of the condition of vessels in chemical production. *Ibid.*, **1**, 34–41 [in Russian].

А. Я. НЕДОСЕКА, С. А. НЕДОСЕКА, Л. И. МАРКАШОВА,  
Т. О. АЛЕКСЕЕНКО

ІЕЗ ім. С. О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДОМ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ КІНЕТИКИ НАКОПИЧЕННЯ ПОШКОДЖЕНЬ ПРИ РУЙНУВАННІ МАТЕРІАЛІВ

Інтенсивне застосування акустичної емісії в оцінці стану експлуатації конструкцій призводить до необхідності подальшого розвитку методів, що базуються на застосуванні цього явища, стосовно розрахунків міцності контрольованого матеріалу. Деякі методики в цьому напрямку вже створені, освоєні і успішно використовуються при тривалому моніторинговому контролі. Однак особливості умов експлуатації конструкцій, їх різноманітність за формами і матеріалами, а також зростання вимог до точності і надійності оцінок призводять до необхідності продовження досліджень в даному напрямку. Особливо істотним це стає в даний час, коли велике значення почали набувати системи безперервного моніторингу технічного стану конструкцій. Бібліогр. 40, рис. 9.

Ключові слова: акустична емісія, пластична деформація, методика оцінки накопичення ушкоджень, розрахунок міцності, моніторинг, руйнування

INVESTIGATION BY ACOUSTIC EMISSION METHOD OF THE KINETICS OF DAMAGE ACCUMULATION AT FRACTURE OF MATERIALS

A. Ya. NEDOSEKA, S. A. NEDOSEKA, L. I. MARKASHOVA,  
T. A. ALEXEENKO

E.O.Paton Electric Welding Institute of NASU,  
11 Kazimir Malevich str., Kiev-150, 03680,  
E-mail: office@paton.kiev.ua

Intensive application of acoustic emission at evaluation of the condition of structures in service necessitates further development of the methods, based on this phenomenon, for the case of calculation of the strength of the material being controlled. Some procedures in this area have already been developed, mastered and are used with success in long-term monitoring. However, the peculiarities of structure service, their diversity as to shapes and materials, as well as increase of requirements to accuracy and reliability of evaluations, necessitate continuation of studies in this area. It becomes particularly significant now, when systems of continuous monitoring of the technical state of constructions started acquiring great importance. 40 Ref., 9 Fig.

Keywords: acoustic emission, plastic deformation, procedure of evaluation of damage accumulation, strength calculation, monitoring, fracture

Поступила в редакцію  
25.05.2018

Подписку на журнал

«Техническая диагностика и неразрушающий контроль» (подписной индекс 74475)

можно оформить через редакцию журнала с любого месяца и на любой срок,

включая выпуски журналов прошлых лет.

Тел./факс: (38044) 200-82-77

# О ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЯХ В ОБОЗНАЧЕНИИ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЛН, ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПРИ ПЕРВОМ КРИТИЧЕСКОМ УГЛЕ

Е. А. ДАВЫДОВ, В. П. ДЯДИН, А. Л. ШЕКЕРО

ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины. 03150, г. Киев, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Целью данной работы является исследование сложившейся практики применения терминов «головная волна», «боковая волна», «ползущая волна», которая на данный момент является достаточно неоднозначной и противоречивой. Библиогр. 21, табл. 2, рис. 3.

*Ключевые слова:* акустическая волна, головная волна, боковая волна, ползущая волна, скользкая волна, ультразвуковой контроль

В последнее время при чтении литературы по ультразвуковому контролю (УЗК) специалисты часто сталкиваются с нечеткой или двусмысленной терминологией в обозначении акустических волн, образующихся при первом критическом угле: головная, боковая, ползущая. Ранее в широкой практике отечественного УЗК использовался только термин «головная волна» и, несмотря на уже существовавшее различие в определении головной волны в УЗК и сейсморазведке (акустике), это не причиняло существенных неудобств. В настоящее время в УЗК появились новые методы: TOFD, метод конверсионных (трансформированных) волн и др. В этих методах используются различные типы волн и, поэтому из-за их терминологической неоднозначности усложняется понимание текстов. Казалось бы, разобраться в этих трех терминах не так и сложно. Достаточно для прояснения сути вопроса внимательно ознакомиться с определениями этих волн в каком-нибудь «толкователе», например, техническом словаре, энциклопедии и пр. Однако такой формальный подход мало что проясняет, т. к. проблема и проистекает из терминологической неоднозначности в самой литературе. Проиллюстрируем сказанное конкретными материалами из нормативной и специальной литературы.

1. ГОСТ 16821-91 Сейсморазведка. Термины и определения [1]:

*«Волна головная – сейсмическая волна, возбуждаемая в геологической среде, покрывающей преломляющую границу, при распространении вдоль нее скользкой волны. Скользящая волна – сейсмическая волна, образующаяся на преломляющей границе при подходе к ней падающей волны под критическим углом. Преломленная (сейсмическая) волна; проходящая волна – сейсмическая волна, преломившаяся на границе раздела двух геологических сред».*

2. Контроль неразрушающий акустический. Термины и определения. Справочник. Ю. В. Ланге, В. А. Воронков. [2] (то же самое в книге - Серия 28. Неразрушающий контроль. Выпуск 4. Система неразрушающего контроля. Виды (методы) и технология неразрушающего контроля. Термины и определения. Справочное пособие [3]):

*«4.3.2.21. Головная волна (Head wave, creeping wave):*

*1. Волна, распространяющаяся вдоль свободной поверхности твердого тела со скоростью объемной продольной волны, но отличающаяся от последней более быстрым уменьшением амплитуды вследствие непрерывного переизлучения в среде в виде поперечной волны. В сейсмоакустике и в зарубежной литературе ее называют ползущей волной.*

*2. Волна, возбуждаемая при первом критическом угле падения и распространяющаяся вдоль поверхности как продольная волна. Ее распространение не зависит от состояния поверхности, причем ультразвуковой луч не повторяет волнистость последней.*

*4.3.2.22. Боковая волна (Lateral wave) – поперечная волна, переизлучаемая в среду распространяющейся вдоль поверхности головной волной. Боковая поперечная волна распространяется под третьим критическим углом».*

3. ГОСТ Р ИСО 5577-2009 Неразрушающий контроль – Ультразвуковой контроль – Словарь терминов [4]:

*«2.2.3 Головная волна (creeping wave): Продольная волна, распространяющаяся вдоль поверхности среды».*

4. Неразрушающий контроль. В 5 кн. Кн. 2. Акустические методы контроля: Практ. пособие / И. Н. Ермолов, Н. П. Алешин, А. И. Потапов; Под ред. В. В. Сухорукова [5]:

*«Головная волна. Решение задачи о возбуждении упругих волн на ограниченном участке по-*



верхности твердого тела [14] показывает, что вдоль поверхности распространяется волна со скоростью, практически равной скорости продольной волны. В [14] эту волну называют квази-однородной, поскольку амплитуда вдоль фронта этой волны изменяется медленно. В отечественной дефектоскопической литературе ее называют головной (в дальнейшем используется это название), а в иностранной – ползущей».

5. Бреховских Л. М. Волны в слоистых средах [6].

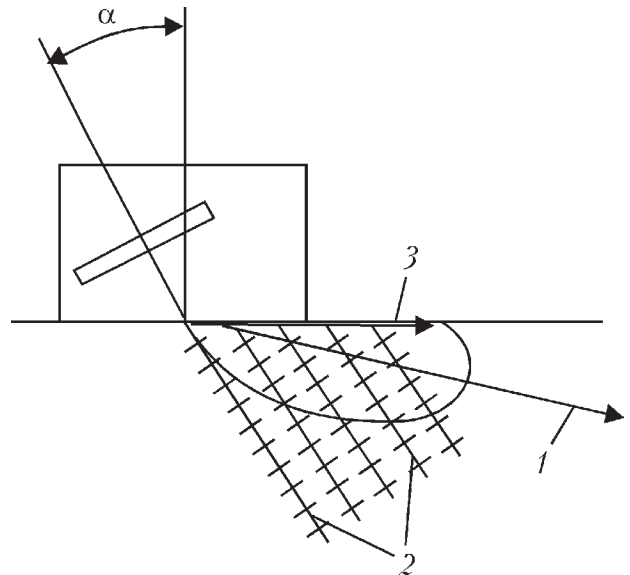
На стр. 181: «В сейсмике боковую волну называют обычно головной».

6. ISO 5577:2017 Неразрушающий контроль – Ультразвуковой контроль – Словарь терминов (Non-destructive testing — Ultrasonic testing — Vocabulary) [7]:

«2.3.5 Ползущая волна – волна, генерируемая при первом критическом угле и распространяющаяся вдоль поверхности как продольная волна (creeping wave – wave generated at the first critical angle of incidence and propagated along the surface as a longitudinal wave)».

7. ISO 22825:2012. Неразрушающий контроль сварных швов. Ультразвуковой контроль. Контроль сварных швов в аустенитных сталях и сплавах на основе никеля (Non-destructive testing of welds — Ultrasonic testing — Testing of welds in austenitic steels and nickel-based alloys) [8]:

«A.5 Способ ползущих волн. Ползущие волны распространяются вблизи поверхности сканирования и генерируются преобразователями, предназначенными для излучения волн сжатия с углами ввода, близкими к 90°. Ползущие волны имеют скорость звука равную скорости волн сжатия, и распространяются на глубину равную приблизительно одной длине волны от поверхности сканирования. Ползущие волны не огибают криволинейные поверхности. (Creeping waves propagate close to the scanning surface, and are generated by probes designed for compression waves with beam angles close to 90°. Creeping waves have sound velocities equal to those of compression waves and propagate at a depth of approximately one wavelength below the scanning surface. Creeping waves do not follow curved surfaces)... Ползущие волны непрерывно генерируют сдвиговые волны (также называемые головными волнами), что является следствием взаимодействия с поверхностью [рис. A.5 a)]. Эти головные волны способны генерировать вторичную ползущую волну на донной поверхности, которая может быть использована для обнаружения поверхностных или подповерхностных дефектов на донной поверхности [рис. A.5 b)]. (Creeping waves continuously generate shear waves (also called head waves), as a consequence of interaction with the surface [Figure A.5 a)].

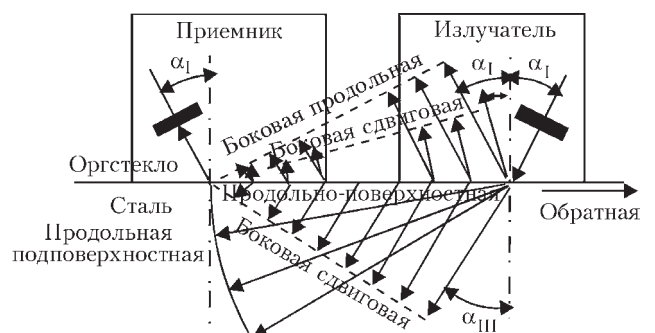


ISO 22825:2012, рис. A.5 a) Возбуждение ползущих волн. (Generation of creeping waves): 1 – продольные волны (compression waves); 2 – поперечные волны (shear waves); 3 – первичная ползущая волна (primary creeping wave)»

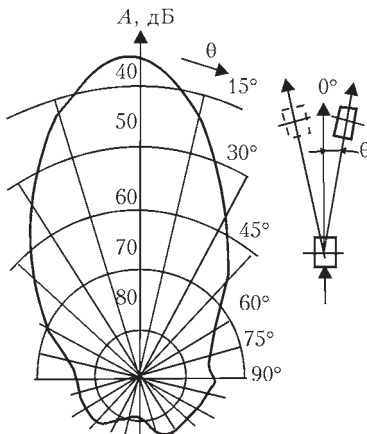
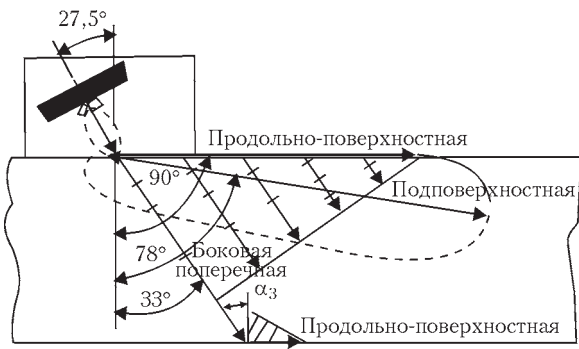
These head waves are able to generate a secondary creeping wave at the back wall, which can be used to detect surface or near-surface defects at the back wall [Figure A.5 b)].»

8. Дефектоскопия, № 9, 2004 [9], стр. 31:

«Учитывая особенности акустического поля излучателя с углом падения, равным первому критическому углу, как-то: наличие неоднородной продольно-поверхностной и подповерхностной волн, образование боковых волн в контролируемой и прилегающих средах, быстрое ослабление неоднородной продольно-поверхностной волны с расстоянием, а также то, что продольные волны распространяются с максимальной скоростью звука, всей совокупности этих волн присвоили специфический для УЗ дефектоскопии материалов термин «головные волны», по аналогии с головными волнами в сейсмоакустике. Этот термин подчеркивает, что импульсы рассматриваемой головной волны распространяются с максимальной скоростью и первыми достигают приемника, что во многих случаях весьма благоприятно для интерпретации сигналов и расшифровки результатов контроля...»

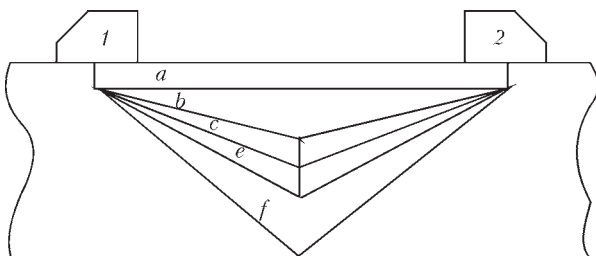


Дефектоскопия, № 9, 2004, стр. 31, рис. 1. Распространение головной волны

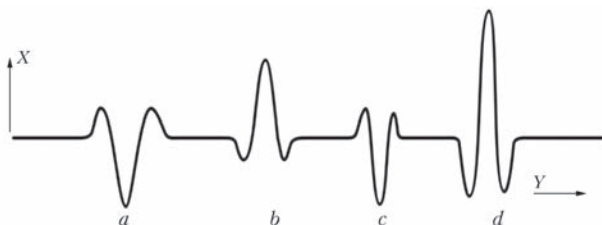


Дефектоскопия, №9, 2004, стр. 31, рис. 3. Поле головной волны в контролируемой среде»

9. ДСТУ ENV 583-6:2005 Неруйнівний контроль. Ультразвуковий контроль. Частина 6: Дифракційно-часовий метод для виявлення і визначення розмірів несучільностей [10]: «



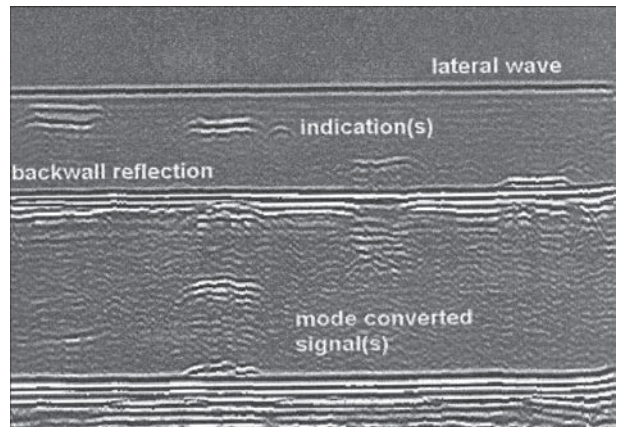
ДСТУ ENV 583-6:2005, рис. 2. Основна схема методу TOFD: 1 – випромінювач; 2 – приймач; d – несучільність; a – поверхнева хвиля; b – верхній кінчик; c – кут введення; e – нижній кінчик; f – відбиття від донної поверхні



ДСТУ ENV 583-6:2005, рис. 3. Схематичний А-скан штучно створених несучільностей: X – амплітуда; Y – час; a – поверхнева хвиля; b – верхній кінчик; d – луна-сигнал від донної поверхні; c – нижній кінчик»

10. ДСТУ CEN/TS 14751:2008 Зварювання. Використання дифракційно-часового методу (TOFD) для контролю зварних швів [11]:

«безперервна головна хвиля (амплітуда в діапазоні від 40 до 80 % висоти FSH);  
– чотири індикації від пазів на різних глибинах;  
– рівна індикація донного відбиття;  
– конвертовані за модою сигнали від пазів і донної поверхні»



ДСТУ CEN/TS 14751:2008, рис. B.1 – Задовільне TOFD-зображення

11. Из книги «Introduction to Phased Array Ultrasonic Technology Applications» (Введение в применения технологии ультразвуковых фазированных решеток) компании «Olympus» [12]:

«При TOFD используют волны четырех типов:  
– продольная подповерхностная волна (lateral wave). Подповерхностные продольные волны, распространяющиеся вдоль поверхности по кратчайшему пути от излучающего преобразователя к приемному.

– донный сигнал. Продольная волна, отражающаяся зеркально от донной поверхности.

– отраженный сигнал. Продольная волна, отраженная зеркально плоским дефектом.

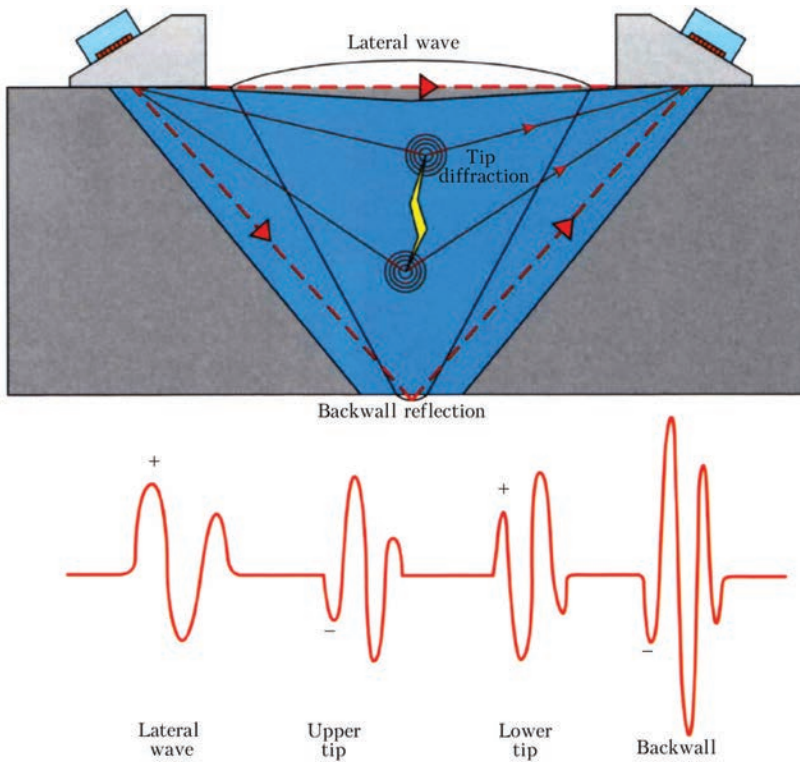
– дифрагированный сигнал. Волна со сферическим фронтом, рассеянная на краю дефекта. При этом генерируются как продольные, так и поперечные волны, но в методе TOFD обычно используют продольные.

Прим. пер.: разница между понятиями «lateral wave» и упоминавшейся ранее «creeping wave» неясна. Косвенно их свойства указывают на то, что обе эти волны продольные и распространяются вдоль поверхности почти горизонтально. Представляется наиболее вероятным, что оба типа волн близки по смыслу к отечественному термину «головная волна». При этом понятие «lateral» авторы данной книги используют только при работе с методом TOFD, а понятие «creeping» – во всех остальных случаях.

Если это мнение переводчика ошибочно, большая просьба разъяснить истинное положение дел.»

Необходимо обратить внимание, что перевод книги выполнил высококвалифицированный





Книга «Introduction to Phased Array Ultrasonic Technology Applications» [12], рис.2.40. Принцип метода TOFD и полярность наблюдаемых сигналов»

специалист по ультразвуковому контролю канд. техн. наук С. В. Реука.

Даже беглый анализ текстов представленных здесь фрагментов 1-11 показывает, что ясного и однозначного соответствия между терминами и определениями типов волн нет. Например, трактовки головных волн в работах [5] (фрагмент 4) и [9] (фрагмент 8), авторы которых имеют совместные публикации, посвященные рассмотрению особенностей распространения ультразвуковых полей преобразователя вблизи первого критиче-

ского угла, существенно разнятся между собой.

**1. Анализ существующей терминологии**

Для некоторой определенности попробуем систематизировать все указанные типы волн и сопоставить их между собой. Возьмем за основу определение волн из фрагмента 7 и сопоставим по физическим характеристикам волны из других фрагментов (табл. 1).

Итак, если внимательно проанализировать изложенную информацию, то мы неизбежно приходим к неутешительному выводу, что никакой однозначности в рассматриваемых материалах нет: один и тот же тип волны называется по разному и, наоборот, одно и то же название волны обозначает разные типы волн. Смысловое содержание терминов также требует некоторого уточнения. Так, в работе [9] (фрагмент 8) разъясняется, что под головными волнами в УЗК пони-

мается некая совокупность волн, каждая из которых была известна и определена ранее. Поэтому определение головной волны в работе [9] не эквивалентно определению ползущей волны (creeping wave) как, например, это изложено в работах [2, 4, 7]. В работе [2, 3] головная и ползущая волна являются синонимами, а из работ [1, 6, 8] следует, что головная волна (head wave) является волной совершенно иного типа, чем ползущая волна (creeping wave) определенная в работах [2, 3].

**Таблица 1. Соответствие между типами волн по фрагментам 1-11**

Номер фрагмента	Термин волны из фрагмента	Физическое соответствие между описанием волн из фрагментов 1-11 и волнами из фрагмента 7		
		Обозначение волны из фрагмента 7		
		Продольная волна (compression wave)	Поперечная волна под критическим углом (head wave) или боковая (lateral wave)	Продольная волна под критическим углом (creeping wave)
1	Волна головная	-	×	-
	Скользящая волна	-	-	×
2	Головная волна (head wave, creeping wave)	-	-	×
	Боковая волна (lateral wave)	-	×	-
3	Головная волна (creeping wave)	-	-	×
4	Головная волна (квазиоднородная, ползущая)	-	-	×
5	Боковая волна (то же, что и головная волна)	-	×	-
6	Ползущая волна (creeping wave)	-	-	×
8	Головные волны	×	×	×
9	Поверхностная волна	-	-	×
10	Головная волна	-	-	×
11	Lateral wave (продольная подповерхностная волна)	-	-	×

Не все понятно и с боковой волной (lateral wave). Приведенное по этому поводу замечание переводчика и редактора работы [12] (фрагмент 11) как нельзя лучше это подтверждает. Например, боковая волна на рис. А.5а фрагмента 7, на рис. 1 фрагмента 8 и боковая волна на рис. 2.40 фрагмента 11 имеют разный физический смысл. Кроме того, в работе [2] боковая волна определяется как волна сдвиговая, а исходя из рис. 1 в работе [9] она представлена не только поперечной но и продольной модами.

Конечно, все эти нестыковки не носят принципиального характера. Физические свойства акустических волн хорошо изучены и обычно достаточно подробно рассматриваются в учебниках по акустике. Поэтому тем обиднее, что в области ультразвукового контроля наблюдается ярко выраженная не только терминологическая, но иногда и смысловая путаница. Очевидно, что причиной этой путаницы является недостаточное понимание различий в природе волн.

Для более полного и связанного изложения кратко рассмотрим, как физически образуются все три указанные волны и как они соотносятся между собой.

## 2. Трансформация волн при падении на границу раздела

Имеется две граничащих между собой твердых среды (рис. 1). В некоей точке *A* первой среды находится точечный источник волн напряжения. В общем, это может быть источник объемных и (или) сдвиговых волн, однако для простоты изложения будем полагать, что в точке *A* находится источник продольных сферических волн. Результатом распространения волн от источника *A* будет следующая волновая картина.

От точки *A* волны распространяются по сферическим фронтам. Фронт волны, дошедший до границы раздела возбуждает волны в первой и во второй средах (рис. 1). Образование или трансформация волн описывается законом Снеллиуса:

$$\frac{\sin(\beta_{L1})}{C_{L1}} = \frac{\sin(\beta_{L1L1})}{C_{L1}} = \frac{\sin(\beta_{L1T1})}{C_{T1}}$$

(волны в среде 1),

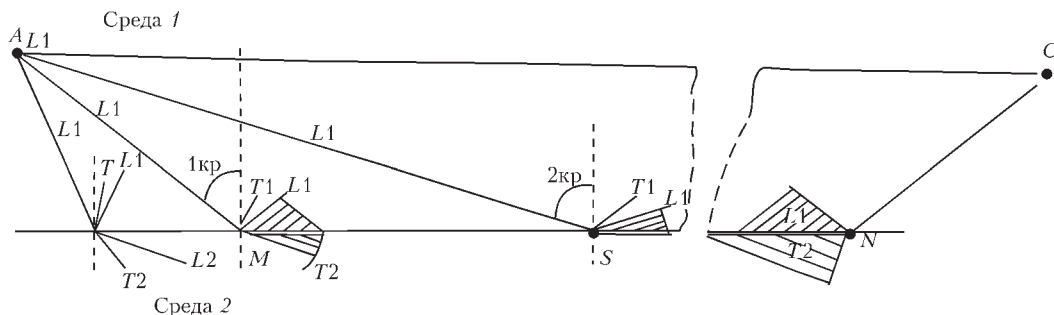


Рис. 1. Трансформация волн на границе раздела сред:  $1кр = \beta_{L1L2кр}$ ;  $2кр = \beta_{L1T2кр}$ . В т. *N* приходит скользящая (ползущая) волна, которая возникла в т. *M* (первый критический угол) и через некоторое время достигла т. *N*

$$\frac{\sin(\beta_{L1})}{C_{L1}} = \frac{\sin(\alpha_{L1L2})}{C_{L2}} = \frac{\sin(\alpha_{L1T2})}{C_{T2}}$$

(волны в среде 2),

здесь  $\beta_{L1}$  – угол падения первичной волны от источника *A* на поверхность раздела сред;  $\beta_{L1L1}$  – угол отражения продольной волны от границы раздела сред;  $\beta_{L1T1}$  – угол отражения поперечной волны от границы раздела сред;  $\alpha_{L1L2}$  – угол преломления продольной волны во второй среде;  $\alpha_{L1T2}$  – угол преломления поперечной волны во второй среде;  $\beta_{L1L2кр}$  – первый критический угол;  $\beta_{L1T2кр}$  – второй критический угол;  $C_{L1}$  – скорость продольной волны в первой среде;  $C_{L2}$ ,  $C_{T2}$  – соответственно скорости продольной и поперечной волны во второй среде.

Критические углы определяются по формулам:

$$\sin(\beta_{L1L2кр}) = \frac{C_{L1}}{C_{L2}},$$

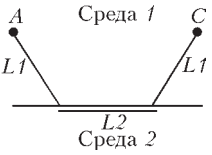
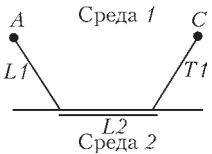
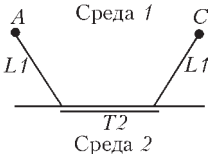
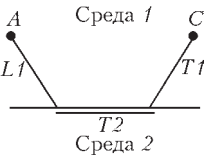
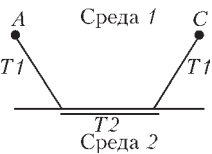
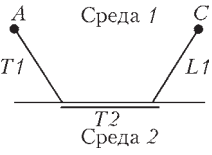
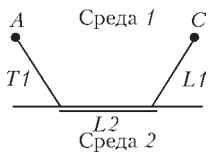
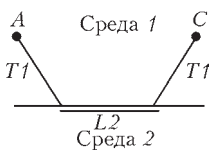
$$\sin(\beta_{L1T2кр}) = \frac{C_{L1}}{C_{T2}}.$$

Для того, чтобы дальнейшее рассмотрение имело смысловое продолжение предположим, что соотношения скоростей в средах подчиняются условию:  $C_{L2} > C_{T2} > C_{L1} > C_{T1}$ . Если под первой средой понимать материал призмы преобразователя (пластик), а под второй средой объект контроля (сталь), то указанное соотношение скоростей является обычным для практики УЗК.

Прямая волна, падающая на границу раздела под критическим углом  $\beta_{L1T2кр}$  (второй критический угол, точка *M* на границе сред), возбуждает во второй среде преломленную продольную волну с углом  $90^\circ$ . Фронт этой волны будет перпендикулярен границе раздела сред. Фактически волна скользит по поверхности границы второй среды, распространяясь во второй среде со скоростью  $C_{L2}$ . Аналогично для точки *S* на границе раздела сред, где падение происходит под критическим углом  $\beta_{L1L2кр}$  (первый критический угол) во второй среде возникнет поперечная волна с углом  $90^\circ$ . Фронт этой волны также перпендикулярен границе раздела и волна скользит по поверх-



Таблица 2. Варианты образования боковых волн

Типы рассматриваемых волн и их трансформация	Стилистическое изображение пути от А к С. В случаях когда во второй среде образуется ползущая продольная волна, то она порождает боковую волну под третьим критическим углом	Критический угол падения волны в первой среде	Критический угол входа волны в первую среду
L1L2L1		$\sin(\beta_{L1L2кр}) = \frac{C_{L1}}{C_{L2}}$	$\sin(\beta_{L1L2L1кр}) = \frac{C_{L1}}{C_{L2}}$
L1L2T1			$\sin(\beta_{L1L2T1кр}) = \frac{C_{T1}}{C_{L2}}$
L1T2L1		$\sin(\beta_{L1T2кр}) = \frac{C_{L1}}{C_{T2}}$	$\sin(\beta_{L1T2L1кр}) = \frac{C_{L1}}{C_{T2}}$
L1T2T1			$\sin(\beta_{L1T2T1кр}) = \frac{C_{T1}}{C_{T2}}$
T1T2T1		$\sin(\beta_{T1T2кр}) = \frac{C_{T1}}{C_{T2}}$	$\sin(\beta_{T1T2T1кр}) = \frac{C_{T1}}{C_{T2}}$
T1T2L1			$\sin(\beta_{T1T2L1кр}) = \frac{C_{L1}}{C_{T2}}$
T1L2L1		$\sin(\beta_{T1L2кр}) = \frac{C_{T1}}{C_{L2}}$	$\sin(\beta_{T1L2L1кр}) = \frac{C_{L1}}{C_{L2}}$
T1L2T1			$\sin(\beta_{T1L2T1кр}) = \frac{C_{T1}}{C_{L2}}$

ности границы второй среды, распространяясь в ней со скоростью  $C_{T2}$ . У этих волн есть общее название – скользящие (ползущие) волны. По закону Гюйгенса скользящие волны вызовут в первой среде волны, фронты которых будут являться прямыми линиями. Именно эти волны называются боковыми волнами. На рис. 1 показаны точки  $M$  и  $S$ , в которых возникают скользящие волны, при

распространении которых вдоль границы образуются боковые волны в первой и второй средах. В первой среде возникнет четыре боковых волны – поперечная и продольная боковые волны, образованные продольной скользящей волной (первый критический угол, точка  $M$ ) и поперечная и продольная боковые волны, образованные поперечной скользящей волной (второй критический

угол, точка  $S$ ). Кроме формы колебания, эти волны будут отличаться между собой углами распространения, которые будут соответствовать закону Снеллиуса. Во второй среде, в соответствии с заданным выше соотношением скоростей, сможет образоваться только одна боковая поперечная волна как следствие продольной скользкой волны, образованной в точке  $M$ . Поперечная скользкая волна не может создавать боковых волн во второй среде. Это можно понять из физического принципа распространения волн или, формально, из закона Снеллиуса.

В точке  $N$  показана скользкая волна, которая возникла в точке  $M$  (первый критический угол) и через некоторое время достигла точки  $N$ .

Из рис. 1 можно понять, что в относительно удаленную точку  $C$  первой придет сигнал от возмущения по пути  $A-M-N-C$ , а не прямая волна по кратчайшему геометрическому пути  $A-C$ . Это происходит по той причине, что большую часть пути возмущение во второй среде распространяется со скоростью большей, чем скорость возмущения в первой среде по прямой от точки  $A$  до  $C$ . Следует также обратить внимание, что возмущение (или сигнал) из точки  $A$  прежде чем попасть в точку  $C$  по пути  $A-M-N-C$  должно совершить несколько волновых трансформаций.

Поэтому здесь возникает вопрос как назвать этот пришедший в точку  $C$  сигнал, т. е. с каким типом волны его связать. Например, для сигнала по прямой  $A-C$  все достаточно просто и однозначно – это сигнал продольной объемной волны, которая распространяется в первой среде без трансформаций. В то время, как для сигнала по пути  $A-M-N-C$  есть варианты. Этот сигнал можно назвать следствием прихода боковой волны, что формально является правильным, т. к. именно боковая волна приходит в точку наблюдения  $C$ . А можно сделать упор на скользкой (ползущей) волне, т. к. благодаря именно этой волне сигнал достигает точки  $C$  первым, обгоняя прямую волну, которая распространяется по кратчайшему пути. Кроме того, боковая волна является производной от скользкой.

С точки зрения УЗК первая среда – это призма преобразователя. Поскольку призма не имеет каких-либо особенностей для распространения волн или, точнее, все особенности призмы имеют конструктивный характер и сделаны так, чтобы минимизировать непредсказуемое влияние на распространение волн в ней, то, обычно распространение волн в призме не рассматривают. К примеру, обычной практикой УЗК является работа за первым критическим углом, т. е. предполагается, что в металле объекта контроля всегда распространяется поперечная волна, а в призме – продольная. Поэтому при анализе схем контроля

все пришедшие сигналы интерпретируются как сигналы поперечных волн, которые приходят к преобразователю и дальше их путь в преобразователе из-за тривиальности не рассматривают. При анализе удобно считать, что наблюдаемые сигналы принадлежат волне дошедшей от источника до преобразователя, а не до пьезопластины. Трансформацию поперечных волн в продольные, происходящую в призме, опускают, как само собой разумеющееся. В какой-то степени это логично для УЗК, поскольку все интересующие особенности волна приобретает во второй среде при прохождении по объекту контроля и активно взаимодействуя с ним.

Поэтому сигнал, прошедший по пути  $A-M-N-C$ , можно назвать сигналом от боковой волны (lateral wave) как это исторически принято в методе TOFD, а можно «исключить» призмы преобразователей из рассмотрения, сосредоточить внимание только на волнах в объекте контроля и тогда пришедший по пути  $A-M-N-C$  сигнал будет следствием волны скользкой по границе раздела, которая носит название ползущей волны (creeping wave).

По этим причинам сигнал возмущения, пришедший по пути  $A-M-N-C$ , в разных источниках называют по-разному: иногда lateral wave (волна пришедшая на пьезопластину), а иногда creeping wave (волна пришедшая к преобразователю).

Как же все-таки будет правильно? Скорее всего, такой вопрос можно отнести к разряду риторических. Когда в методе TOFD говорят про сигнал «lateral wave», то имеют ввиду волну, пришедшую к пьезопластине, и при этом опускают, что перед этим часть пути сигнал прошел как «creeping wave» (одно есть следствие другого). Если же говорят про сигнал «creeping wave», то подразумевают волну, пришедшую к преобразователю, и опускают процесс трансформации волны на границе объект контроля-призма. Наверное имеют право на существование оба эти подхода. Однако будет неправильным называть термином «lateral wave», волну показанную на рис. 2.40 из фрагмента 11, на котором изображена продольная скользкая волна или, что то же, «creeping wave». Такой же завуалированный элемент неоднозначности присутствует во фрагментах 9 и 10. На рис. 3 фрагмента 9 сигнал «а» называют поверхностной волной, а на рис. В.1 из фрагмента 10 тот же сигнал назван «lateral wave» (боковая волна), т. е. имеют ввиду сигнал пришедший к пьезопластине. Если рассматривать работы [10 и 11] как документы не связанные между собой, то вопросов не возникает. Однако с учетом того, что эти НД связаны ссылками и должны являть общую систему, то получается эклектический подход к изложению связанных текстов, что необходимо исключать, т. е. требования к четкости и однозначности исполь-



зуемых терминов надо проследивать и соблюдать более жестко.

Итак, в процессе распространения возмущения от точки *A* (рис. 1), возникают две ползущие волны, которые порождают пять боковых волн: две продольные боковые и две поперечные боковые в первой среде и одну поперечную боковую волну во второй среде. Как уже отмечалось, эти волны возникают при критических углах. Распространение боковых волн в первой среде происходит под углами:

$\beta_{L1L2кр}$  – первый критический угол, когда прямая продольная волна трансформируется в продольную ползущую волну во второй среде;  $\beta_{L1T2кр}$  – второй критический угол, когда прямая продольная волна трансформируется в поперечную ползущую волну во второй среде.

Во второй среде боковая волна образуется от продольной ползущей и распространяется под третьим критическим углом

$$\alpha_{3кр} = \arcsin \frac{C_{T2}}{C_{L2}}$$

Если источник *A* будет излучать поперечные волны, то также возникнут ползущие волны и, соответственно, будут возбуждаться боковые. В таблице 2 рассмотрены все возможные варианты образования боковых волн.

### 3. Особенности использования терминов «головная волна» и «боковая волна» в УЗ контроле и сейсмоакустике

Термин «головная волна» исторически закрепился в сейсморазведке [1] и по сути является синонимом термина «боковая волна». Объясняется это тем, что в сейсморазведке при использовании метода преломленных волн боковая волна при некотором удалении точки наблюдения от источника волн всегда приходит первой, обгоняя прямую волну. На рис. 2 представлены годографы различных волн (см. [13], стр. 76). Как следует из рис. 2, начиная с некоторого расстояния, определяемого точкой пересечения кривых 1 и 2, боковая волна будет всегда регистрироваться первой, чем и объясняется присвоенный ей термин «головная волна». Хотя изначально головные волны назывались минтроповскими по имени немецкого геофизика Людгера Минтропа (Ludger Mintrop), который является основоположником метода сейсморазведки – метода преломленных волн. В настоящее время в сейсморазведке минтроповские волны называют головными, что характеризует их особенности в методе преломленных волн.

В УЗК головные волны в своем классическом понимании используются в методе TOFD. Однако исторически так сложилось, что в методе TOFD головные волны называют боковыми волнами (lateral wave), что, как уже отмечалось, по

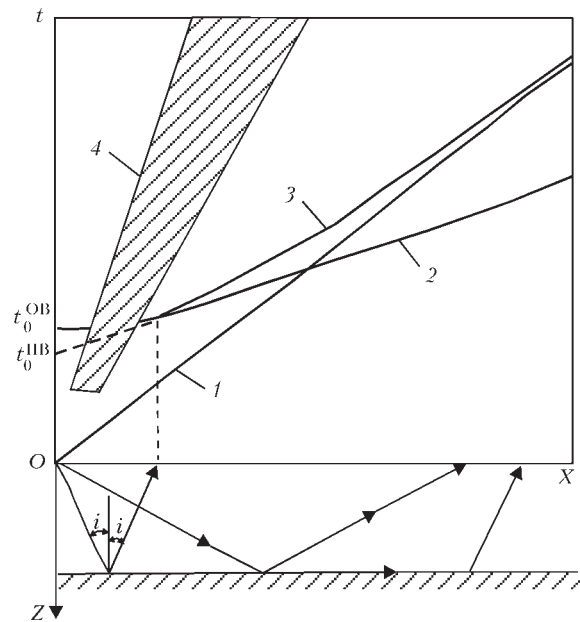


Рис. 2. Сравнительное положение годографов сейсмических волн: 1 – прямой; 2 – головной; 3 – отраженной; 4 – релейского типа

существо одно и то же. И скорее всего это правильно, так как термин головная волна имеет хоть и широкое распространение в сейсморазведке (сейсмоакустике), но в целом имеет «региональное» происхождение. Хотя для схем TOFD сигнал, обозначенный как «lateral wave» (рис. В.1 из фрагмента 10, рис. 2.40 из фрагмента 11, рис. 3 из фрагмента 9), можно назвать сигналом головной волны по тем же самым соображениям, по которым в сейсморазведке боковую волну назвали головной: сигнал боковой волны в схеме TOFD всегда будет первым сигналом из всех возможных, и если бы преобразователи в методе TOFD имели общую призму, то распространение волн полностью соответствовало бы рис. 1. С другой стороны, нужно понимать, что в УЗК схемы типа приведенных на рис. 1 обычно не используются, сигнал из точки *A* не может попасть в точку *C* непосредственно по прямой *A-C* из-за фрагментарности среды 1. Кроме того, задачи и соответственно этому схемные решения в УЗК не имеют прямых аналогий с сейсморазведкой. Поэтому термин «головная волна» в УЗК не имеет такого содержательного значения, как в сейсморазведке, и используется в УЗК по большей части формально (например, в стандарте [8]). Чем же можно объяснить использование термина «головная волна» (head wave) для боковой волны во второй среде (в объекте контроля) в стандарте [8]? На наш взгляд – исключительно формальной эквивалентностью терминов «головная волна» и «боковая волна». В определении головной волны по стандарту сейсморазведки [1] (фрагмент 1) ничего не говорится о первичности регистрации этой волны, а только о способе ее возникновения, поэтому

имеем два названия одной и той же волны, эквивалентных по определению.

Об особенностях термина «головная волна» в УЗК уже немного упоминалось выше. Тот факт, что термин «головная волна» в УЗК и в сейсмо-разведке существенно отличаются между собой, конечно ясности не добавляет, но такая терминологическая трансформация относительно часто происходит с терминологическими заимствованиями и переносом их в специализированные области деятельности. В УЗК все несколько сложнее. Так получилось, что здесь термин «головная волна» одновременно означает два разных явления. Например, в специализированном издании [2] (фрагмент 2) и в работе [5] (фрагмент 4) под головной волной понимают ползущую волну из рис. 1 (creeping wave), в то время как в работе [9] (фрагмент 8) под головными волнами понимается не элементарная волна, а целая совокупность волн. Фактически речь идет о поле ультразвукового преобразователя в районе первого критического угла.

Таким образом, в области ультразвукового контроля существует не только терминологическая, но и смысловая путаница в отношении термина «головная волна». Ситуация еще более усугубляется, когда во время перевода пытаются адаптировать иностранный термин «head wave» переводом типа: «квазиоднородная», «неоднородная», «продольно-поверхностная», «подповерхностная». Но даже в том случае, когда перевод звучит, как «головная волна» всегда возникает вопрос, а какая это головная волна: как она понимается в стандарте [1] или как в работе [2]?

#### 4. Проблемы терминологической неоднозначности в НД по ультразвуковому контролю

В принципе любую волну из трех (head wave, creeping wave, lateral wave) можно назвать головной и это будет соответствовать какому-либо действующему НД или определению в специальной литературе по методам УЗК, но в то же время ни одна из этих трех волн не является головной волной в смысле стандарта [1].

С введением в действие в Украине международных стандартов по УЗК указанная путаница только усугубляется и расширяется. Это можно легко обнаружить на информационных сайтах по НК в интернете. Авторы статьи с некоторым удивлением обнаружили ряд новых, креативных определений термина «головная волна» или «головные волны». Безусловно все понимают, что к достоверности информации в интернете следует относиться с определенной осторожностью, но тем не менее это очень доступная и часто полезная информационная среда, чтобы от нее отказываться.

Вот, например, учебный курс лекций по УЗК [14] от известных авторов вызывает определен-

ные вопросы в части изложения понятия головных волн (параграф «3.4. Головные волны»). Для предметного обсуждения кратко изложим содержание данного параграфа:

*«В реальных условиях УЗ контроля наклонным преобразователем фронт УЗ волны излучающего пьезоэлемента имеет неплоскую форму. От излучателя, ось которого ориентирована под 1-м критическим углом к границе раздела, на границу падают также продольные волны с углами несколько меньше и несколько больше 1-го критического. При этом в стали возбуждается несколько типов УЗ волн. Вдоль поверхности распространяется неоднородная продольно-поверхностная волна. Эту волну, состоящую из поверхностной и объемной компонент, называют также вытекающей или ползучей...»*

*Кроме вытекающей, возбуждается также головная волна, получившая широкое применение в практике УЗ контроля. Головной называют продольно-подповерхностную волну, возбуждаемую при падении УЗ пучка на границу раздела под углом, близким к первому критическому. Скорость этой волны равна скорости продольной волны. Своего амплитудного значения головная волна достигает под поверхностью вдоль луча с углом ввода 78°. Головная волна, как и вытекающая, порождает боковые поперечные волны под третьим критическим углом к границе раздела...»*

Из приведенного текста следует, что вытекающая (ползущая) волна и головная волна – это две разные волны. В вышеприведенном фрагменте 4 из книги [5], напротив, прямо говорится, что это одна и та же волна: *«В советской дефектоскопической литературе ее называют головной (в дальнейшем используется это название), а в иностранной – ползущей».*

Наиболее простое принципиальное описание волн, образующихся при первом критическом угле, дано в работе [8] (см. фрагмент 7). Фактически то же изложено в работе [9] (см. фрагмент 8). Действительно, если установить следующую однозначность между обозначениями рис. А.5 а) из стандарта [8] и рис. 1 из работы [9]: 1 – продольные волны (compression waves) ↔ подповерхностная; 2 – поперечные волны (shear waves) ↔ боковая поперечная; 3 – первичная ползущая волна (primary creeping wave) ↔ продольно-поверхностная, то никаких различий в описании волн, образующихся при первом критическом угле, нет. При этом в работе [9] предложено интерференцию всех трех волн назвать термином «головные волны».

При анализе акустического поля мы можем искусственно выделять какие-то области внутри него в силу их значимости или ничтожности для данного рассмотрения, но делать это можно



в конкретных случаях, специально оговаривая и определяя такие возможности. На наш взгляд выделить в акустическом поле преобразователя отдельно продольную волну, отдельно продольно-подповерхностную, отдельно продольно-поверхностную с какими-то четкими границами невозможно. Такое разделение носит качественный характер и по большей части являет собой пример ложного наукообразия. Например, авторы работы [15] ограничились тем, что назвали волну, образованную при первом критическом угле, продольной подповерхностной волной, но никак не ограничили область этой волны. По крайней мере, в работе исследовалось поведение волны на глубинах от нуля вплоть до противоположной поверхности и даже переотражения от нее.

Безусловно структура акустического поля вблизи критических углов носит крайне сложный характер и, очевидно, введя какие-то критерии можно выделить зоны с особенностями, установить количественные механизмы влияния зон друг на друга, учесть перетоки энергии между ними и пр. Раскрытие подобных механизмов может и должно быть предметом самостоятельных исследований, но это совсем не значит, что необходимо разделять поле на несколько составляющих, никак не определяя разграничения между ними и по этой же причине путать одно с другим. Например, определение продольно-подповерхностной волны в работе [15] по смыслу включает в себя продольно-поверхностную и продольно-подповерхностную согласно работе [9] (фрагмент 8). На наш взгляд, все особенности акустического поля при первом критическом угле можно описать в рамках существующей терминологии не вовлекая в процесс дополнительные понятия, которые к тому же не имеют ясного определения. В общем, стремление к простоте тоже является научным принципом, известным как принцип «бритвы Оккама», одна из формулировок которого – «не следует привлекать новые сущности без крайней на то необходимости». **Поэтому для качественного описания поля преобразователя вблизи критических углов вполне достаточно известных терминов: продольная волна, ползущая волна (скользящая продольная волна, вытекающая волна, creeping wave), боковая волна (головная волна, head wave).** Все эти термины известны, определены и, обычно, понятны большинству специалистов. К примеру, такое лаконичное изложение с понятной терминологией сделано в работе [8] (фрагмент 7). А вот определение границы или разницы между продольной поверхностной волной и продольной подповерхностной может быть совсем непростой задачей.

Использование уже известных терминов не ограничивает и не упрощает возможность опи-

сывать различные физические модели. Например, известно, что сигналы боковых волн имеют несколько иную форму, чем первоначальный импульс, т. е. импульс боковой волны отличается по форме от импульса волны, падающей на границу раздела сред. При больших расстояниях между точкой наблюдения и источником возмущения сигнал боковой волны будет связан с сигналом падающей волны (первоначальной) соотношением [16]:

$$f_{\text{бок}}(\tau) = \int_0^{\tau} f(t) dt,$$

где  $f(t)$  – мпульс падающей волны.

По этой причине спектр боковой волны имеет меньшую ширину и больший видимый период. Это явление известно всем специалистам, занимающимся методом TOFD, которые всегда наблюдают разницу в частоте первого сигнала (lateral wave) и всеми последующими и это различие не постоянно, а зависит от параметров тракта. Продольные волны, которые не распространяются вдоль границы, не обладают столь явным свойством изменения формы сигнала, но это не исключает переходной зоны с углами продольных волн близкими к  $90^\circ$ , где из-за дифракции мы сможем наблюдать это явление в несколько менее выраженной форме, чем в скользящей волне. И качественно понятно, что чем больше угол отличается от значения  $90^\circ$ , тем хуже будет наблюдаться явление изменения формы импульса. При этом не обязательно вводить новую волну для объяснения или описания данного явления или приписывать это явление исключительно ползущей волне. Лучше раскрывать механизмы, которые приводят к подобным явлениям.

### 5. Так что же такое «головная волна»?

В УЗК больше известен метод головных волн, чем сама головная волна. Метод головных волн входит в ряд широко известных нормативных документов:

- в НД [17] описана методика УЗК подповерхностной части сварных соединений головными волнами;
- в НД [18] изложена методика контроля аустенитной наплавки головными волнами;
- в НД [19] также приводится методика контроля аустенитной наплавки головными волнами.

В работе [20] (стр. 34) дается объяснение выбора термина «головная волна» для использования в УЗК: *«Скорость продольных волн больше скорости волн других типов, поэтому неоднородная продольная волна обеспечивает максимальную скорость переноса сигнала вдоль поверхности твердого тела. По аналогии с сейсмоакустикой назовем эту волну головной».*

На самом же деле какой-то понятной аналогии с сейсмоакустикой не наблюдается. Скорее наоборот. В сейсмоакустике головной называют

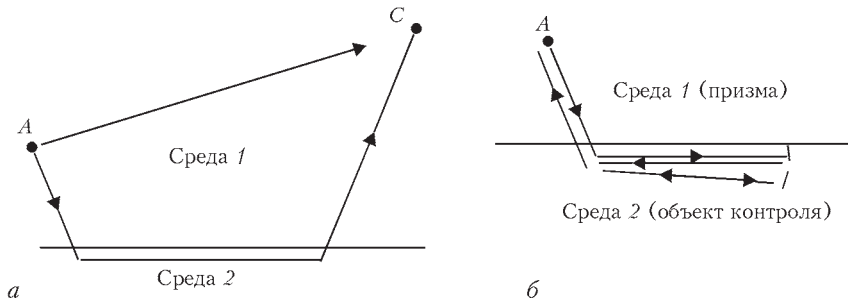


Рис. 3. Сравнение распространения волн: а – в сейсморазведке в методе преломленных волн; б – в УЗК в методе головных волн (отражение от приповерхностной несплошности)

боковую волну, а она вдоль поверхности не распространяется. На рис. 3 условно изображены схемы метода преломленных волн в сейсморазведке и схема выявления подповерхностных несплошностей в УЗК. В сейсмоакустике головная волна являет собой акустический эффект, благодаря чему она и обгоняет прямую волну, при этом сам факт наличия головной волны является важным: второй среды может не быть, а когда она есть, то появляется головная волна, которая позволяет установить глубину залегания границы и ее протяженность. В УЗК в методе головных волн уже по определению используют самые быстрые (продольные) волны во второй среде. При наличии отражателя они же первыми вернутся к преобразователю и в этом нет никакой особенности. Например, в толщинометрии используются продольные волны, и именно они всегда вызывают первый сигнал на А-скане. Но ведь из этого очевидного факта совсем не следует аналогия с головными волнами в сейсмоакустике.

Авторы той же работы [20] привели еще одно обоснование выбора термина «головная волна»: *«Может возникнуть вопрос о том, достаточно ли велико своеобразие волн рассматриваемого типа по сравнению с продольными волнами, чтобы назвать их специфическим термином «головные». На наш взгляд, такие особенности заключаются в закономерном распределении амплитуды напряжений под поверхностью тела, большой ширине диаграмм направленности как в плоскости падения, так и в плоскости поверхности изделия, возникновении боковых волн и т. д. Совокупность этих признаков делает полезным присвоение этим волнам специального названия».*

Очевидно, что приведенные соображения никак не связаны с семантикой слова «головная» или «головные». Возможно специальный термин для обозначения особенностей акустического поля преобразователя вблизи поверхности объекта контроля нужен и полезен, но так ли нужно было использовать уже известный термин, который, изначально имеет иное значение. В результате мы имеем не только терминологическую путаницу, но и смысловую.

### Заключение

На наш взгляд было бы правильным устранить указанную путаницу, применяя уже устоявшиеся и не вызывающие сомнения определения:

- головной волны в работах [1, 6, 21]. При этом термины «боковая волна» и «головная волна» считаются равными друг другу, по крайней мере, физически. В УЗК более правильно использовать термин «боковая волна», т. к. термин «головная волна» имеет явное смысловое содержание в сейсморазведке, а в УЗК – это просто заимствование;
- ползущей волны (скользящей, вытекающей) в работах [1, 7, 8].

В отношении употребления термина «головная волна» в смысле [9] необходимо специально об этом упоминать. Это необходимо по той причине, что термин «головная волна» в смысле [9] не эквивалентен термину головная волна из [1,2,3,5,6]. Поэтому упоминание о какой именно головной волне идет речь позволит избежать двусмысленности, чтение текста станет более легким и потребует меньше времени на осмысление. В уже имеющейся НД стараться понимать по контексту, о какой волне идет речь, например, если в тексте речь идет о контроле подповерхностных трещин (поднаплавочных), то, скорее всего, под термином «головная волна» имеют ввиду волну со свойствами в смысле [9]. В новых текстах следует обязательно отслеживать смысловое различие термина «головная волна» и устранять потенциальную двусмысленность дополнительным разъяснением. Например, в [4] термин «сгеering wave» переведен не дословно, а с учетом принятой в русскоязычной специальной литературе терминологии УЗК, а именно назван головной волной и, в результате, приведенное определение не только не согласуется с понятием головной волны в смысле [9], и, конечно, не согласуется с общеупотребительным определением головной или боковой (head wave, lateral wave) волны.

С точки зрения физического содержания термина головная волна в определении работы [9] для практических специалистов ультразвукового контроля можно посоветовать следующее. На наш взгляд при работе с методом головных волн под термином «головная волна» следует пони-



мать акустическое поле преобразователя вблизи первого критического угла. Физически это акустическое поле можно трактовать как некое суммарное поле или интерференцию различных волн, определенных в работах [8, 9]. Особенности этого поля лучше всего изучать экспериментально, что в той или иной мере все равно необходимо делать при настройке оборудования для выявления околоповерхностных несплошностей. Для тех же, кто не ищет легких путей и не ограничивается примитивными моделями, можно посоветовать уже классические работы по исследованию поля пьезоэлектрического преобразователя с углом ввода, равным или близким к первому критическому углу [6, 9, 15, 20, 21] и др.

Для удобства, однозначности и терминологической чистоты можно предложить заменить термин «головная волна» как он трактуется в работе [9] каким-либо иным более адекватным названием, а уже хорошо известный в УЗК метод головных волн переименовать по имени разработчика и популяризатора этого метода – Разыграева Н. П.: метод Разыграева, волны Разыграева. Для этого есть все предпосылки. Метод головных волн известен уже более сорока лет и является востребованным и достаточно популярным, присутствует во многих нормативных документах по УЗК, большинство специалистов знают и суть метода и его разработчика. Поэтому, это будет, с одной стороны, заслуженно, а с другой, рационально для поддержания терминологической строгости.

#### Список литературы

- ГОСТ 16821-91 *Сейсморазведка. Термины и определения*.
- Ланге Ю. В., Воронков В. А. (2003) *Контроль неразрушающий акустический. Термины и определения. Справочник*. Москва
- (2003) *Система неразрушающего контроля. Виды (методы) и технология неразрушающего контроля. Термины и определения*. Справочное пособие. Серия 28. Неразрушающий контроль. Выпуск 4. Москва, Государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр».
- ГОСТ Р ИСО 5577-2009 *Неразрушающий контроль. Ультразвуковой контроль. Словарь терминов*.
- Ермолов И. Н., Алешин Н. П., Потапов А. И. (1991) *Неразрушающий контроль*. В 5 кн. Кн. 2. Акустические методы контроля: Практик. пос. Сухоруков В. В. (ред.). Москва, Высшая школа.
- Бреховских Л. М. (1973) *Волны в слоистых средах*. Москва, Наука.
- ISO 5577:2017 *Non-destructive testing — Ultrasonic testing — Vocabulary*.
- ISO 22825:2012. *Non-destructive testing of welds — Ultrasonic testing — Testing of welds in austenitic steels and nickel-based alloys*.
- Разыграев Н. П. (2004) Ультразвуковая дефектоскопия головными волнами – физические предпосылки и практическое применение. *Дефектоскопия*, 9, 27–37.
- ДСТУ ENV 583-6:2005 *Неруйнівний контроль. Ультразвуковий контроль. Частина 6: Дифракційно-часовий метод для виявлення і визначення розмірів несутільностей*.
- ДСТУ CEN/TS 14751:2008. *Зварювання. Використання дифракційно-часового методу (TOFD) для контролю зварних швів*.
- (2007) *Introduction to Phased Array Ultrasonic Technology Applications: R/D Tech guideline*. (URL: <https://www.olympus-ims.com/vi/books/pa/pa-intro/>; [https://www.olympus-ims.com/ru/resources/738-search-resourcecontenttype.Brochures\\_738-search-submit.1](https://www.olympus-ims.com/ru/resources/738-search-resourcecontenttype.Brochures_738-search-submit.1)).

- <https://www.olympus-ims.com/vi/books/pa/pa-intro/>; [https://www.olympus-ims.com/ru/resources/738-search-resourcecontenttype.Brochures\\_738-search-submit.1](https://www.olympus-ims.com/ru/resources/738-search-resourcecontenttype.Brochures_738-search-submit.1).
- Бондарев В. И. (2007) *Сейсморазведка*. Учебник для вузов. Екатеринбург, Изд-во УГГУ.
- Алешин Н. П., Ремизов А. Л., Дерябин А. А. (2015) *Курс лекций по контролю качества сварных соединений*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана.
- Басацкая Л. В., Вopilкин А. Х., Ермолов И. Н. и др. (1978) К вопросу о распространении ультразвуковых продольных волн вблизи поверхности твердого тела. *Акустический журнал*, 24, 1, 15–20.
- Хмелевской В. К., Горбачев Ю. И., Калинин А. В. (2004) *Геофизические методы исследований. Учебное пособие для геологических специальностей вузов*. Петропавловск-Камчатский, Изд-во КГПУ.
- РД 34.17.302-97 (ОП 501 ЦД-97). *Котлы паровые и водогрейные. Трубопроводы пара и горячей воды, сосуды. Сварные соединения. Контроль качества. Ультразвуковой контроль. Основные положения*.
- ПНАЭ Г-7-030-91. *Унифицированные методики контроля основных материалов (полуфабрикатов), сварных соединений и наплавки оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. Ультразвуковой контроль. Часть II. Контроль сварных соединений и наплавки*.
- СОУ НАЕК 032:2014 «Техническое обслуживание и ремонт. Контроль неразрушающий ультразвуковой. Методика контроля сварных соединений и наплавки».
- Ермолов И. Н., Разыграев Н. П., Щербинский В. Г. (1978) Использование акустических волн головного типа для ультразвукового контроля. *Дефектоскопия*, 1, 33–40.
- Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. (2001) *Теоретическая физика: Учеб. пособ. для вузов*. В 10 т. Т. 6. Гидродинамика. Москва, ФИЗМАТЛИТ.

#### References

- GOST 16821-91: *Exploration seismology. Terms and definitions* [in Russian].
- Lange, Yu.V., Voronkov, V.A. (2003) *Nondestructive acoustic testing. Terms and definitions*. In: *Refer. book*. Moscow [in Russian].
- (2003) *Nondestructive testing system. Kinds (methods) and technology of nondestructive testing*. Terms and definitions. In: *Refer. book*. Series 28: *Nondestructive testing*. Issue 4. Moscow, State Unitary Enterprise “Scientific and Technical Centre [in Russian].
- GOST R ISO 5577-2009: *Nondestructive testing. Ultrasonic testing. Vocabulary of terms* [in Russian].
- Ermolov, I.N., Alyoshin, N.P., Potapov, A.I. (1991) *Nondestructive testing*. In: 5 books. Book 2: *Acoustic methods of testing*. In: *Manual*. Ed. by V.V. Sukhorukov. Moscow: Vysshaya Shkola [in Russian].
- Brekhovskiy, L.M. (1973) *Waves in stratified media*. Moscow, Nauka [in Russian].
- ISO 5577:2017: *Non-destructive testing — Ultrasonic testing — Vocabulary*.
- ISO 22825:2012: *Non-destructive testing of welds — Ultrasonic testing — Testing of welds in austenitic steels and nickel-based alloys*.
- Razygraev, N.P. (2004) *Ultrasonic flaw detection by head waves: Physical prerequisites and practical application*. *Defektoskopiya*, 9, 27–37 [in Russian].
- DSTU ENV 583-6:2005: *Non-destructive testing. Ultrasonic examination. Time-of-flight diffraction technique as a method for detection and sizing of discontinuities* [in Russian].
- DSTU CEN/TS 14751:2008. *Welding. Use of time-of-flight diffraction method (TOFD) for examination of welds* [in Russian].
- (2007) *Introduction to phased array ultrasonic technology applications: R/D Tech guideline*. (URL: <https://www.olympus-ims.com/vi/books/pa/pa-intro/>; [https://www.olympus-ims.com/ru/resources/738-search-resourcecontenttype.Brochures\\_738-search-submit.1](https://www.olympus-ims.com/ru/resources/738-search-resourcecontenttype.Brochures_738-search-submit.1)).
- Bondarev, V.I. (2007) *Exploration seismology*. In: *Manual for students of higher education institutes*. Ekaterinburg, Izd-vo UGTU [in Russian].

14. Alyoshin, N.P., Remizov, A.L., Deryabin, A.A. (2015) *A course of lectures on quality control of welded joints*. Moscow, Izd-vo MGTU im. N.E. Bauman [in Russian].
15. Basatskaya, L.V., Vopilkin, A.Kh., Ermolov, I.N. et al. (1978) On propagation of ultrasonic longitudinal waves near the surface of the solid. *Akusticheskij Zhurnal*, 24(1), 15–20 [in Russian].
16. Khmelevsky, V.K., Gorbachev, Yu.I., Kalinin, A.V. (2004) *Geophysical methods of investigation. In: Manual for geology specialties of higher education institutes*. Petropavlovsk-Kamchatsky, Izd-vo KGPU [in Russian].
17. RD 34.17.302-97 (OP 501 TsD-97): *Steam and water-heating boilers. Steam and hot water pipelines, vessels. Welded joints. Quality control. Ultrasonic testing. Main principles* [in Russian].
18. PNAEG -7-030-91: *Unified procedures for control of the main materials (semi-finished products), welded joints and deposits in equipment and piping of nuclear power plants. Ultrasonic testing. Pt 2: Control of welded joints and deposits* [in Russian].
19. SOU NAEK 032:2014: *Maintenance and repair. Ultrasonic nondestructive testing. Procedure of testing welded joints and deposits* [in Russian].
20. Ermolov, I.N., Razygraev, N.P., Shcherbinsky, V.G. (1978) Application of acoustic waves of head type for ultrasonic testing. *Defektoskopiya*, 1, 33–40 [in Russian].
21. Landau, L.D., Lifshits, E.M. (2001) *Theoretical physics. In: Manual for students of higher education institutes*. In: 10 Vol. Vol. 6: Hydrodynamics. Moscow, FIZMATLIT [in Russian].

ПРО ТЕРМІНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ В ПОЗНАЧЕННЯХ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ХВИЛЬ, ЩО УТВОРЮЮТЬСЯ ПРИ ПЕРШОМУ КРИТИЧНОМУ КУТІ

Є. О. ДАВИДОВ, В. П. ДЯДІН, А. Л. ШЕКЕРО  
 ІЕЗ ім. С. О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Метою даної роботи є дослідження практики застосування термінів «головна хвиля», «бічна хвиля», «повзуча хвиля», яка на даний момент є досить неоднозначною і суперечливою. Бібліогр. 21, табл. 2, рис. 3.

Ключові слова: акустична хвиля, головна хвиля, бічна хвиля, повзуча хвиля, ковзна хвиля, ультразвуковий контроль

ON TERMINOLOGICAL PECULIARITIES OF DESIGNATION OF ULTRASONIC WAVES FORMED AT THE FIRST CRITICAL ANGLE

E. A. DAVYDOV, V. P. DYADIN, A. L. SHEKERO

E.O.Paton Electric Welding Institute of NASU, 11 Kazimir Malevich str., Kiev-150, 03680, E-mail: office@paton.kiev.ua

The objective of this work is studying the established practice of application of «head wave», «side wave», «creeping wave», which at present is quite ambiguous and contradictory. 21 Ref., 2 Tables, 3 Fig.

Keywords: acoustic wave, head wave, side wave, creeping wave, sliding wave

Поступила в редакцію 14.06.2018

НОВІ КНИГИ



Божидарнік В.В., Скальський В.Р., Матвіїв Ю.Я. **Діагностування руйнування скловолоконних композитів методом акустичної емісії.** – К.: Наукова думка, 2013. – 256 с.



Скальський В.Р., Божидарнік В.В., Станкевич О.М. **Акустико-емісійне діагностування типів макроруйнування конструкційних матеріалів.** – К.: Наукова думка, 2014. – 264 с.



Скальський В.Р., Божидарнік В.В., Долінська І.Я. **Основи механіки руйнування для зварювальників: навч. посіб.** – Луцьк, 2014. – 356 с.



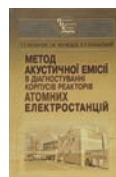
Назарчук З.Т., Скальський В.Р., Почапський Є.П. **Технології відбору та опрацювання низькоенергетичних діагностичних сигналів.** – К.: Наукова думка, 2014. – 304 с.



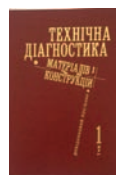
Скальський В.Р., Ярема Р.Я. **Методи розрахунку ресурсу, відновлення і відбракування кілець буксового підшипника локомотивів.** – Львів, 2015. – 288 с.



Метод акустичної емісії в дослідженні стоматологічних полімерів / В.Р. Скальський, В.Ф. Макеев, О.М. Станкевич, О.С. Кирманов, Б.П. Клим. – Львів: Кварт, 2015. – 150 с.



Назарчук З.Т., Неклюдов І.М., Скальський В.Р. **Метод акустичної емісії в діагностуванні корпусів реакторів атомних електростанцій.** – К.: наукова думка, 2016. – 306 с.



**Технічна діагностика матеріалів і конструкцій: у 8-ми т. Том 1. Експлуатаційна деградація конструкційних матеріалів / Є.І. Крижанівський, О.П. Остап, Г.М. Никифорчин, О.З. Студент, П.В. Ясній;** за заг. ред. З.Т. Назарчука. – Львів: Простір-М, 2016. – 360 с.



Nazarchuk Z., Skalskyi V., Serhiyenko O. **Acoustic emission. Methodology and Application.** – Springer International Publishing AG, 2017. – XIV, 283 p.



**Технічна діагностика матеріалів і конструкцій: у 8-ми томах. Том 3. Моніторинг напруженого стану елементів конструкцій з використанням електромагнітних хвиль оптичного діапазону. / Л. М. Лобанов, Л. І. Муравський, В. А. Півторак, Т. І. Вороняк.** – Львів: «Простір-М», 2017. – 340 с.



В. В. Кныш, С. А. Соловей. **Повышение долговечности сварных соединений с усталостными повреждениями.** – Киев, КПИ им. Игоря Сикорского, 2017. – 315 с. Твердый переплет, 150×225 мм.

## НОВЫЕ РАЗРАБОТКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНО-АКУСТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ (ОБЗОР)

**Г. М. СУЧКОВ, С. Ю. ПЛЕСНЕЦОВ, С. Ю. МЕЩЕРЯКОВ, Н. Н. ЮДАНОВА**

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт».

61002, г. Харьков, ул. Кирпичева, 2. E-mail: [hpi.suchkov@gmail.com](mailto:hpi.suchkov@gmail.com)

Проведен анализ информационных источников по вопросам исследований и разработки электромагнитно-акустических преобразователей. Установлено значительное расширение номенклатуры ЭМА преобразователей различного назначения как для портативных, так и для автоматических средств измерений, контроля, диагностики и оценки физико-механических свойств материалов. Библиогр. 14, рис. 9.

*Ключевые слова:* электромагнитно-акустический преобразователь, ультразвуковые волны, магнитное поле, источник магнитного поля, объект контроля, высокочастотное электромагнитное поле, катушка индуктивности, контроль, измерения, диагностика

За последние годы опубликовано сотни работ, посвященных исследованиям и разработкам электромагнитно – акустических (ЭМА) преобразователей (ЭМАП), наиболее важная часть которых рассмотрена в статье [1]. Из анализа этих работ можно сделать следующие выводы в отношении ЭМАП:

1. ЭМА преобразователь состоит из трех основных элементов: одного или нескольких источников поляризуемого магнитного поля, одного или нескольких источников электромагнитного поля (катушек индуктивности с током различного вида) и поверхностного слоя или объема объекта контроля (ОК).

2. Во многих случаях источники поляризуемого магнитного поля и катушки индуктивности ЭМАП имеют индивидуальную конструкцию, главным образом определяемую геометрическими параметрами ОК.

3. Принципиальную роль в работе ЭМАП играют свойства поверхностного слоя или объема материала и геометрические характеристики ОК. Неоднозначность и неоднородность свойств материала контролируемых изделий создают существенные сложности при конструировании ЭМА преобразователей.

В связи с этим на значительные сложности при конструировании ЭМАП указывает Сазонов Ю. И., поскольку, по его мнению, одновременно необходимо учитывать «...проблемы радиофизики, физической и прикладной акустики, физики твердого тела, физики магнитных явлений, теплофизики и молекулярной физики», а также нетипичность электродинамики взаимодействия полей разного типа и структуры с ОК. Существенные трудности при создании ЭМАП отметили Чабанов В. Е. и Жуков В. А. Они утверждают, что работа пьезоэлектрических преобразователей опреде-

ляется всего 5...7 конструктивными параметрами, в то время как эффективность работы ЭМАП зависит минимум от 35 параметров [1]. С другой стороны Судакова К. В. и Казюкевич И. Л. практически показали, что за счет использования автоматических установок с ЭМАП на ОАО «Северсталь» получены существенные экономические, технологические и экологические предпочтения.

Поэтому многообразие ОК с различными свойствами, разнообразие конструкций катушек индуктивности и намагничивающих систем, потребность и возможность возбуждения и приема различных типов волн и их мод предопределило разработку огромного числа разновидностей ЭМАП и их элементов. Еще в 1975 г. Аббакумов К. Е. пытался оптимизировать ЭМА излучатели и приемники. Однако до настоящего времени эта проблема не решена.

Целью работы является анализ новых информационных источников и установление тенденций совершенствования и разработки новых типов ЭМА преобразователей.

**Анализ разработок ЭМА преобразователей.** Ермолов И. Н. указал на недостаточность разработок ЭМАП и специального оборудования для их функционирования. В первую очередь это относится к элементам ЭМА преобразователей. В работах [2, 3] авторами показано, что основную роль в преобразовании электромагнитной энергии в механическую (ультразвуковую) и обратно играет магнитное поле (МП). Наибольшие сложности для формирования максимальной индукции МП возникают для источников магнитного поля (ИМП) портативных приборов. ИМП для ручных приборов ультразвукового контроля должны удовлетворять многим противоречивым требованиям. Они должны возбуждать магнитное поле с максимальной индукцией, т. к. коэффициент двойного



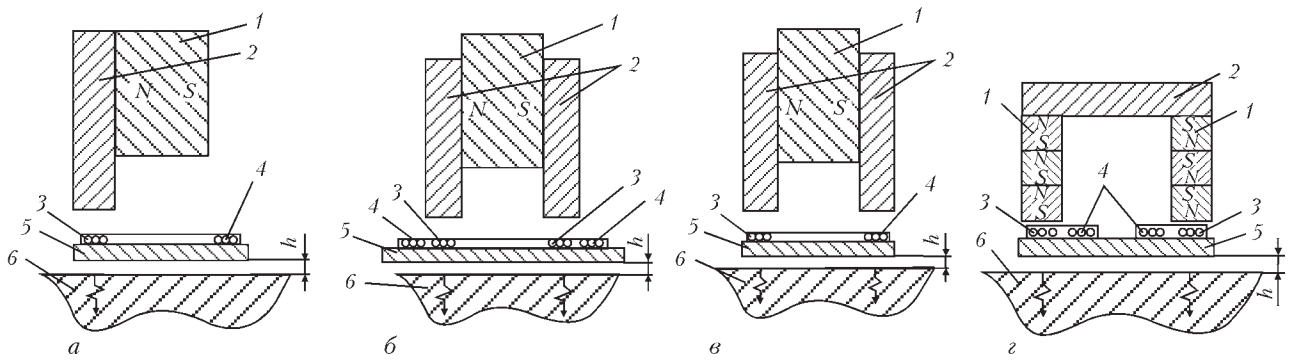


Рис. 1. Схематическое изображение ИМП и их расположение относительно катушек индуктивности ЭМАП [3] (обозн. см. в тексте)

ЭМА преобразования зависит от этого параметра квадратично [2]. С другой стороны, при контроле ферромагнитных изделий сила притяжения к ОК должна быть приемлемой с точки зрения прикладываемых усилий и, соответственно, обеспечения возможности сканирования. Следует учитывать необходимость контроля изделий с неэлектропроводными ферромагнитными покрытиями (например, окрашенные ОК) [4]. Т. е. изменение величины индукции в зависимости от расстояния до поверхности металла должно быть минимальным. Расстояние от торца полюса ИМП до катушки индуктора преобразователя должно быть минимальным, но при этом в полюсе не должны возбуждаться когерентные помехи. Элементы конструкции ИМП не должны формировать поле вне рабочей зоны ЭМАП. Габариты источника МП должны быть приемлемыми с точки зрения удобства применения оператором. Упрощенные схемы некоторых ИМП портативных ЭМАП показаны на рис. 1.

На рис. 1, а, б и г показано: 1 – магниты; 2 – магнитопроводы; 3 – рабочие участки высокочастотных катушек; 4 – нерабочие участки высокочастотных катушек; 5 – протектор; 6 – ОК;  $h$  – зазор между ЭМАП и поверхностью ОК. На

рис. 1, в: 3, 4 – рабочие участки высокочастотной катушки, используемой для синфазного излучения и приема.

На рис. 1, а, в приведены варианты схем для совмещенных ЭМАП, возбуждающих и принимающих сдвиговые колебания нормально поверхности ОК. На рис. 1, б, г приведены варианты исполнения раздельно-совмещенного ЭМАП.

На рис. 1, г приведен вариант ИМП, предназначенный для одновременного формирования нормального и тангенциального магнитных полей с применением постоянных магнитов и магнитопровода. Преимуществом такого устройства является минимальное рассеяние МП. Недостатком является существенная сила притяжения к ОК из ферромагнитного материала.

Сложной проблемой при конструировании ЭМАП является создание МП заданной направленности вне габаритов ИМП, часто на довольно значительном расстоянии. Особенно это важно при контроле ферромагнитных материалов. В этом случае значительных величин индукции МП можно достигнуть при использовании принципа вытеснения магнитного поля. Варианты конструкций таких ИМП с элементами ЭМАП показаны на рис. 2.

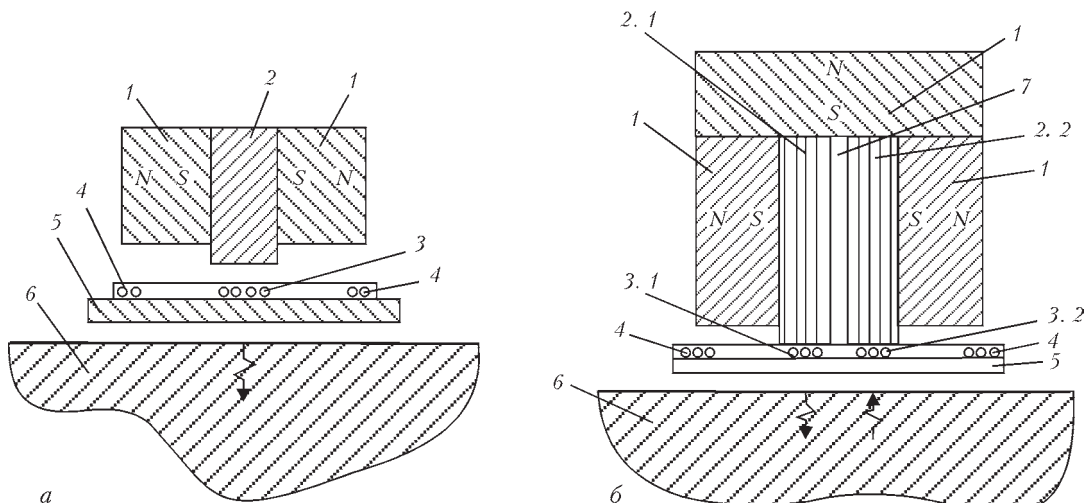


Рис. 2. Схематическое изображение ИМП и их расположение относительно катушек индуктивности ЭМАП при использовании способа вытеснения магнитного поля в рабочую зону ЭМАП [3] (обозн. см. в тексте)

На рис. 2 показано: 1 – магниты; 2, 2.1, 2.2 – магнитопроводы; 3, 3.1, 3.2 – рабочие участки возбуждающей и приемной высокочастотных катушек; 4 – нерабочие участки возбуждающей и приемной высокочастотных катушек; 5 – протектор; 6 – ОК, 7 – акустический экран.

Рассмотрим построение прямого раздельно-совмещенного ЭМАП сдвиговых волн с применением варианта, приведенного на рис. 2, б. В этом случае МП остается единственный выход – в направлении возбуждающего 3.1 и приемного 3.2 участков катушек индуктивности. Наборный магнитопровод из тонких пластин трансформаторной стали разделен пополам акустическим экраном 7. Тогда, даже если импульсы когерентных помех возбуждаются в части магнитопровода 2.1, расположенных над рабочим возбуждающим участком 3.1 высокочастотной (ВЧ) катушки, они не перейдут в часть магнитопровода 2.2 и не будут зарегистрированы рабочим участком 3.2 приемной ВЧ катушки индуктора преобразователя. Изготовленный ИМП представляет собой замкнутую трубчатую конструкцию прямоугольной формы из магнитов толщиной 5 мм и высотой 24 мм. Магниты фиксировались по периметру окантовкой из алюминия толщиной 3,5 мм. С целью устранения части когерентных помех места соединений магнитов между собой не склеивались. Внутренний размер полости ИМП –  $6,5 \times 15 \times 24$  мм<sup>3</sup>. Она была заполнена пластинами из трансформаторной стали толщиной 0,5 мм. Для такой конструкции ИМП величина нормальной компоненты индукции МП при минимальном зазоре между высокочастотной катушкой и ОК достигала 1,2 Тл. Такой подход к конструкции ИМП обеспечивает эффективное формирование МП в заданной области ОК [3].

Целый ряд публикаций и патентов посвящены конструкциям, в основном, накладных ЭМАП, которые разработаны сотрудниками МНПО «СПЕКТР»: Алехиным С. Г., Бобровым В. Т., Бобровым С. В., Козловым В. Н., Сергеевым К. Л. и др. Технический результат от этих разработок – возможность определения текстурной анизотропии, толщины и напряженно-деформированного состояния конструкций и проката типа лент, полос, труб и др.

Группа исследователей из Ижевска: Муравьев В. В., Муравьева О. В., Кокорина Е. Н., Балобанов Е. Н. и др. рассмотрели вопрос формирования МП подмагничивания П-образного устройства для проходных ИМП и накладных источников МП на основе постоянных магнитов. При этом утверждается, что удалось получить МП с индукцией до 2,7 Тл. Проведена оптимизация систем подмагничивания проходных электромагнитно-акустических преобразователей объемных волн для неразрушающего контроля пруткового проката.



Рис. 3. ЭМАП с импульсным ИМП [5]

Развивается направление по формированию импульсов поляризуемого МП. Перспективное усовершенствование источника МП, работающего в импульсном режиме, предложили авторы работ [3, 5–7]. Поляризуемое магнитное поле ИМП создается прямоугольным импульсом тока заданной длительности, пропущенным через катушки индуктивности различных конструкций, в большинстве случаев содержащих сердечник. Авторы утверждают, что можно сформировать МП с индукцией, превышающей в несколько раз поля, полученные с помощью постоянных магнитов. Кроме того, авторы работы [7] утверждают, что при импульсном подмагничивании выполнение высокочастотной катушки двухслойной позволяет увеличить информационный сигнал в 2,3 раза.

В работе [3] в 2005 г. разработан и изготовлен совмещенный ЭМАП с импульсным магнитом размерами  $40 \times 40$  мм и толщиной 10 мм, излучающий импульсы SH волн линейной поляризации нормально поверхности ОК. Экспериментально показано, что этот ЭМАП позволяет обнаруживать на расстоянии до 70 мм в головке рельса при контроле с боковой грани плоскодонный отражатель диаметром 2 мм при прямоугольной форме импульса тока подмагничивания равном 600 А в двухвитковой катушке длительностью 200 мкс при частоте ультразвуковых импульсов 2,5 МГц.

В диссертационной работе Алехина С. Г. [5] в 2013 г. разработан ЭМАП (рис. 3) с импульсным источником магнитного поля. ИМП выполнен с бронированным разрезным сердечником 2, в котором размещена катушка индуктивности 1; 3 – ОК (рис. 4). Поскольку индуктивность такого источника оказалась значительной, то длительность питающего импульса тока достигала 1 мс, что не всегда допустимо.

Кроме того, наличие бронированного сердечника привело к возбуждению шумов Баркгаузена значительной амплитуды и длительности (рис. 5), что заметно снижает эффективность работы ЭМАП с импульсным ИМП такой конструкции.

Из изложенного следует, что применение импульсных ИМП с минимальной индуктивно-

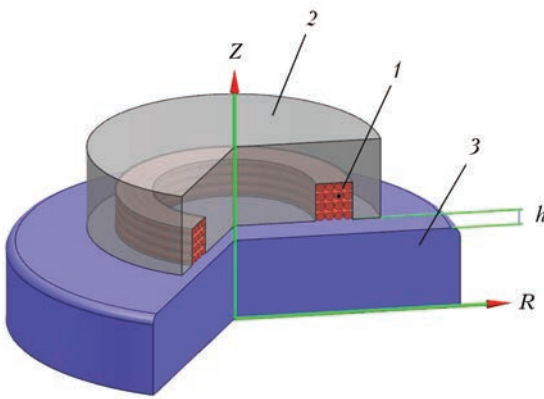


Рис. 4. Схема импульсного ИМП [5] (обозн. см. в тексте)

стью его катушки и минимальным объемом ферромагнитного сердечника или без сердечника перспективно.

Для возбуждения и регистрации горизонтально поляризованных волн, как правило, используют ИМП с периодической структурой магнитов [2, 3] (рис. 6). На рис. 6 показано: 1 – ОК; 2 – магниты; 3 – проводники с током;  $2a$  – шаг периодической структуры магнитов, равный длине возбуждаемой ультразвуковой волны. Недостатками такой конструкции является значительное усилие притяжения к ферромагнитному ОК и сильная зависимость информационного сигнала от изменения зазора между ОК и ЭМАП.

Чаще всего в установках для автоматического контроля применяют электромагниты значительных габаритов [8] с индукцией МП, достигающей 1 Тл и более для зазоров до 10 мм. При использовании постоянных магнитов и электромагнитов во время контроля ферромагнитных изделий возникают большие силы притяжения. Для облегчения и мобильности сканирования поверхности ОК применяют ЭМАП, размещенные на различных следящих устройствах [3, 8].

Из изложенного следует необходимость оптимизации намагничивающих систем ЭМАП для каждого конкретного случая, что существенно ус-

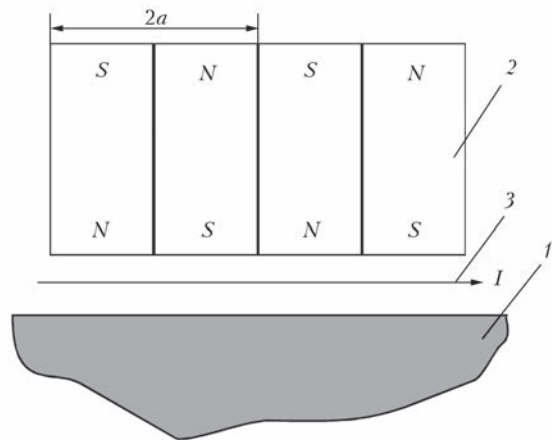


Рис. 6. Схема построения ЭМАП для возбуждения и приема горизонтально поляризованных ультразвуковых волн с помощью периодической структуры магнитов [2, 3] (обозн. см. в тексте)

ложняет и удорожает процесс разработки систем контроля и диагностики с использованием ЭМА способа возбуждения и приема ультразвуковых колебаний.

Высокочастотные катушки индуктивности ЭМАП также имеют значительное разнообразие конструкций. Их применяют в совмещенном, раздельно-совмещенном и в раздельном вариантах, накладные и проходные. Они бывают одновитковые и многовитковые, однослойные и многослойные. Участки ВЧ катушек используют в синфазном и противофазном включении или комбинированном, в зависимости от ориентации вектора индукции поляризующего МП. Катушки индуктивности могут быть спиральные, эллиптические, в виде крыльев бабочки, зигзагообразные с прямолинейными и криволинейными участками. Некоторые виды распространенных ВЧ катушек ЭМАП приведены на рис. 7.

На рис. 7 показано: 1 – плоская однослойная катушка совмещенного широкозахватного ЭМАП для возбуждения и приема линейно поляризованных ультразвуковых колебаний нормально поверхности ОК в синфазном или противофазном включении (определяется полярностью МП над линейными участками катушки); 2 – плоская однослойная катушка совмещенного ЭМАП для возбуждения и приема линейно поляризованных ультразвуковых колебаний нормально поверхности ОК в синфазном или противофазном включении (определяется полярностью МП над линейными участками катушки); 3 – плоские однослойные катушки совмещенных ЭМАП для возбуждения и приема ультразвуковых колебаний с круговой поляризацией нормально поверхности ОК; 4 – плоские однослойные катушки раздельно-совмещенного ЭМАП для возбуждения и приема линейно поляризованных ультразвуковых колебаний нормально поверхности ОК; 5 – плоская однослойная

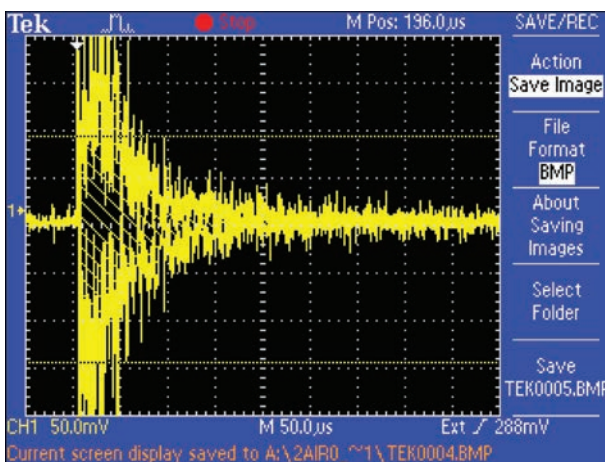


Рис. 5. Шумы Баркгаузена, обусловленные воздействием переднего фронта импульса подмагничивания [5]



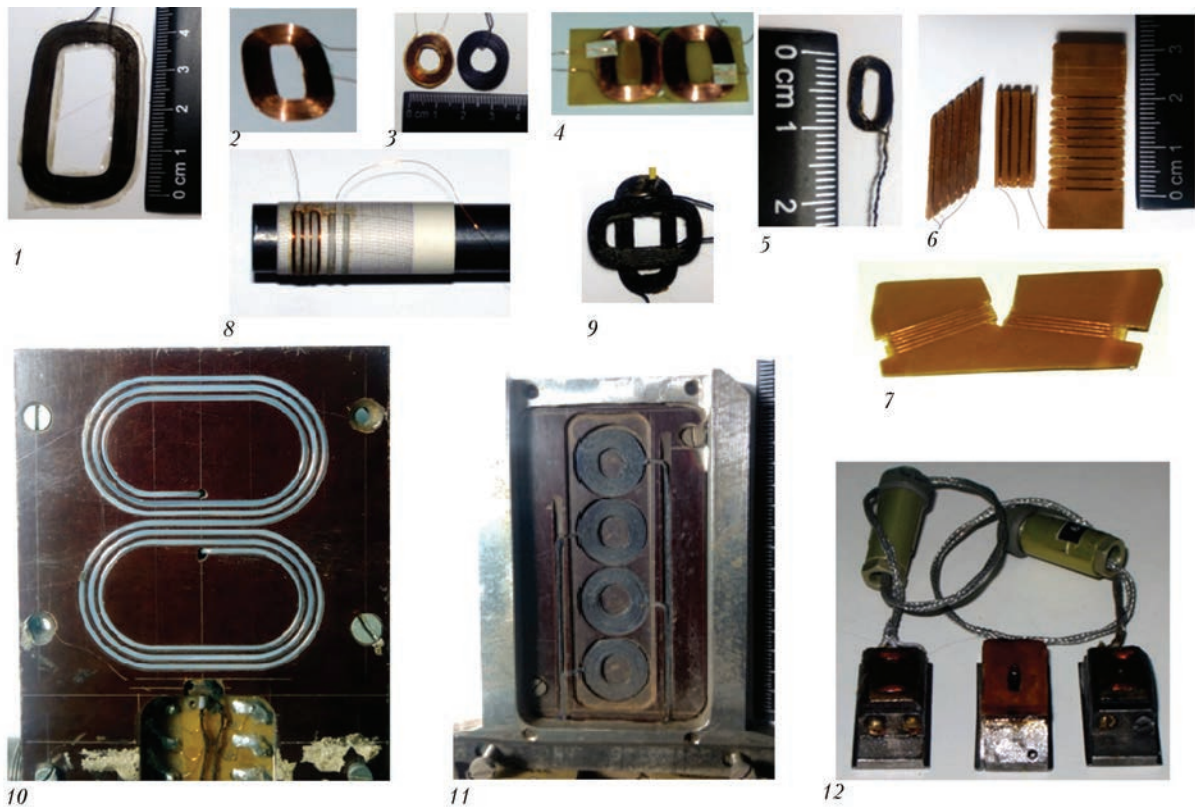


Рис. 7. ВЧ катушки индуктивности ЭМАП различного назначения [2–4, 6, 7] (обозн. см. в тексте)

миниатюрная совмещенного ЭМАП для возбуждения и приема линейно поляризованных ультразвуковых колебаний нормально поверхности ОК в синфазном или противофазном включении (определяется полярностью МП над линейными участками катушки); 6 – плоские высокочастотные катушки совмещенных ЭМАП, каждая секция которых намотана несколькими витками, для возбуждения и приема волн Релея, Лэмба или под углом к поверхности ОК, в зависимости от частоты питающего тока; 7 – плоские высокочастотные катушки раздельно-совмещенного ЭМАП, каждая секция которых намотана несколькими витками, для возбуждения и приема волн Релея или Лэмба; 8 – высокочастотная катушка совмещенного ЭМАП, каждая секция которой намотана несколькими витками, для возбуждения и приема волн Релея или под углом к поверхности ОК, или крутильных волн, в зависимости от частоты питающего тока (для стержней и труб малого диаметра); 9 – плоские высокочастотные катушки раздельно-совмещенного ЭМАП, для возбуждения и приема нормально к поверхности ОК сдвиговых волн с вращающимся вектором поляризации (катушки питают высокочастотными токами, сдвинутыми по фазе относительно друг друга на 90°) (разработка Неволина О. В.); 10 – плоская высокочастотная катушка, намотанная многожильным проводом, совмещенного ЭМАП для возбуждения и приема линейно поляризованных ультразвуковых колебаний нормально поверхности ОК (использу-

ется с 1983 г. в установках автоматического ультразвукового контроля рельсов [8] и в портативном толщиномере [4]); 11 – плоские высокочастотные катушки ЭМАП, намотанные многожильным проводом, для возбуждения и приема сдвиговых ультразвуковых колебаний с круговой поляризацией нормально поверхности ОК (использованы в четырехканальной установке ультразвукового контроля железнодорожных колес); 12 – плоские однослойные катушки с полюсными наконечниками совмещенных ЭМАП для возбуждения и приема линейно поляризованных ультразвуковых колебаний в четырехканальном автоматическом толщиномере для бесшовных труб [8].

Из изложенного следует, что многообразие конструкций ВЧ катушек индуктивности ЭМАП также требует индивидуального подхода к выполнению конкретных технических задач измерений, контроля и диагностики для отдельного ОК, что, с одной стороны, усложняет процесс их разработки, а с другой – позволяет решать задачу с высокой эффективностью.

Следует отметить, что существенных подвижек в разработке ЭМАП для возбуждения и приема волн Релея и Лэмба не произошло. В большинстве случаев в ЭМАП, используемых для диагностики, применяются традиционные высокочастотные катушки (рис. 7.6, 7.7) типа «меандр» [2, 3]. Это говорит об удачном научно-техническом решении, которое дает возможность реализовать многие технические и практические задачи – контролировать изделия с

большими площадями: листы, трубы разного диаметра, емкости и т. п. Недостатком таких преобразователей является необходимость в изготовлении набора преобразователей, настроенных на одну конкретную частоту ультразвуковых колебаний. Например, в работе [9] для исследований алюминиевой пластины толщиной 5 мм волнами Лэмба применили двенадцать различных ЭМАП. С другой стороны достоинством таких ЭМАП [3] является возможность существенно повысить чувствительность обнаружения дефектов за счет выделения полезных импульсов из шумов в узкой полосе частот и фактической корреляционной обработке пакетных информационных сигналов, обеспеченной конструкцией высокочастотной катушки, или надежно оценить физико-механические характеристики материалов ОК.

Заметного практического применения ЭМАП для возбуждения и приема ультразвуковых волн Релея и Лэмба типа SH мегагерцового диапазона в литературе не обнаружено. Хотя исследования в этой области продолжаются. Скорее всего это связано со сложной структурой намагничивающей системы таких преобразователей [2, 3] и чрезвычайно сильным влиянием изменения величины зазора на чувствительность контроля.

Успешно продолжают разработки ЭМАП с вводом ультразвуковых импульсов в объем ОК под углом. Мышкин А. В. [10] исследовал диа-

граммы направленности наклонных преобразователей и показал, что на уровень боковых лепестков существенно влияет ширина элемента высокочастотной катушки и величина зазора между ЭМАП и ОК. Он сделал вывод, что следует искать компромисс между достижением требуемой чувствительности и требуемой формой диаграммы направленности.

Дальнейшее продвижение в разработках наклонных ЭМАП нашло свое развитие в создании фазированных решеток. Мышкин А. В. [10] развил подход по моделированию ультразвуковых полей многоэлементных ЭМАП на базе решений для сосредоточенных источников излучения. При этом учтены как электродинамический, так и магнитострикционный механизмы ЭМА преобразования, определяющие диаграммы направленности ЭМАП.

Заметные подвижки произошли в области разработки ЭМАП для толщинометрии ферромагнитных металлоизделий с диэлектрическими покрытиями, в которых за счет использования ВЧ катушки в форме «крыльев бабочки» (рис. 8) и составного удлиненного постоянного магнита удалось увеличить рабочий зазор (толщину диэлектрического покрытия) между преобразователем и поверхностью металла до 10 мм. На рис. 8 приведена схема разработанного преобразователя.

Корпус преобразователя является разборным (на рисунке не показан). Мощный постоянный магнит 1 на основе керамики NeFeV для повышения индукции поляризуемого магнитного поля в поверхности изделия фиксируется при помощи ферромагнитной пластины-магнитопровода 2. Магнит 1 отделяется от ВЧ катушки 3 экранирующей пластиной 4, выполненной, например, из латуни типа ЛС69 толщиной 0,2 мм. Она необходима для исключения появления ультразвуковых импульсов в теле магнита 1. Жгут проводников катушки 3 помещается в окантовку 5 из диэлектрика, например стеклотекстолита. Окантовка 5 соединяется с протектором 6 из стеклотекстолита, после чего катушка 3 заливается клеем – это предотвращает ее повреждение из-за возникающих механических микросмещений во время работы. На протекторе 6 закрепляется упорная окантовка 7 из латуни. Разработанный резонансный ЭМАП был изготовлен и испытан на катаных и непрерывнолитых образцах из ферромагнитных сталей толщиной до 100 мм. Диэлектрическое покрытие имитировали прокладками из стеклотекстолита. Питание ЭМА преобразователя осуществлялось генератором [12], который формировал в индукторе высокочастотные пакетные импульсы тока величиной до 60 А. Напряжение на индукторе достигало 3 кВ (при зазоре 10 мм). Длительность зондирующих импульсов регулировали в пределах 1...10 периодов частоты заполнения в

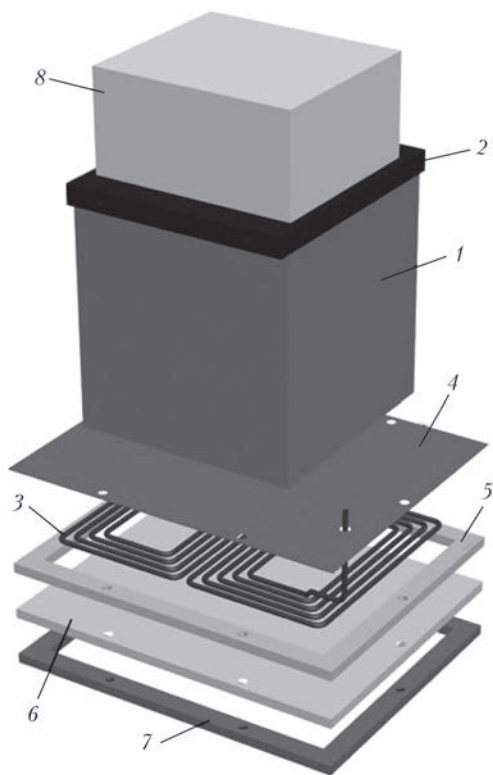


Рис. 8. Схема ЭМА преобразователя для контроля ОК с диэлектрическими покрытиями толщиной до 10 мм [11] (обозн. см. в тексте)

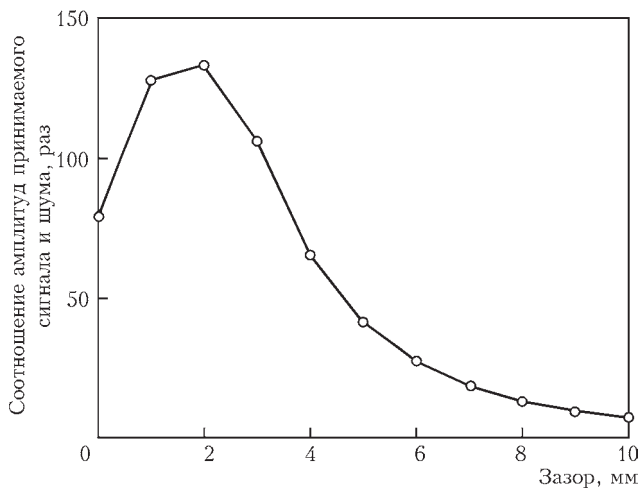


Рис. 9. Зависимость соотношения амплитуд донного сигнала и шума от толщины диэлектрического покрытия на поверхности металла [11]

пакете. Индукция поляризуемого магнитного поля при зазоре 10 мм достигала 0,6 Тл. Исследован диапазон ультразвуковых частот в пределах 1,5...2,5 МГц. Настройку резонансной частоты ЭМАП осуществляли при зазоре 2 мм, что позволяло получить относительно небольшие изменения амплитуд принятого полезного сигнала и шума при изменении толщины покрытия, что является важным при автоматическом контроле с заданным воздушным зазором между преобразователем и металлом. Типичная зависимость амплитуды донного сигнала от толщины покрытия приведена на рис. 9. Анализ исследованной зависимости показал, что при зазоре 10 мм из прозрачных с точки зрения акустики металлов, без применения методов обработки информации, соотношение амплитуд полезного сигнала и шума достигает семи, что вполне достаточно для толщинометрии.

ЭМА преобразователи также используют для приема ультразвуковых импульсов, возбужденных другими источниками, например за счет акустической эмиссии. Ряд авторов предложили использовать регистрацию коротких ультразвуковых импульсов, возбужденных в металле емкостными преобразователями [13] или лазером [14], при выполнении высокоточных измерений физико-механических характеристик материалов ОК.

**Выводы**

1. Установлено значительное увеличение количества разработок электромагнитно-акустических преобразователей различного назначения, что подтверждает экономическую эффективность их применения для измерений, контроля и диагностики.

2. Разработаны источники постоянных и импульсных магнитных полей портативных ЭМА преобразователей, обеспечивающих формирование в заданных участках контролируемых изделий индукцию до 2,7 Тл.

3. Номенклатура ЭМАП существенно расширилась, что позволяет возбуждать и принимать все известные на сегодня виды ультразвуковых колебаний, в том числе экзотические, например, с вращающимся вектором поляризации. Изготовлены образцы ЭМА преобразователей, реализующие излучение и прием ультразвуковых импульсов с направленностью, характерной для фазированных решеток. Разработаны ЭМАП с одновременным комбинированным возбуждением и приемом нескольких типов ультразвуковых колебаний в одном и том же объеме металла.

4. Увеличилось практическое использование ЭМА преобразователей в установках автоматического контроля качества листов, труб, заготовок различной формы из ферромагнитного материала.

5. Разработан ЭМАП для толщиномера, который позволяет выполнять измерения при толщинах диэлектрических покрытий на металле (зазоре) до 10 мм.

**Список литературы**

1. Плеснецов С. Ю., Сучков Г. М., Корж А.И., Суворова М. Д. (2018) Новые теоретические исследования и разработки в области электромагнитно-акустического преобразования (Обзор). *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*, 2, 24–31.
2. Ермолов И. Н., Ланге Ю. В. (2004) *Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. Ключев В. В. (ред.). Т. 3: Ультразвуковой контроль*. Москва, Машиностроение.
3. Сучков Г. М. (2005) *Развитие теории и практики создания приборов для электромагнитно-акустического контроля металлоизделий*. Дис. д-ра техн. наук. Харьков, НТУ «ХПИ».
4. Десятніченко О. В. (2015) *Електромагнітно-акустичний товщиномір для контролю металовиробів з діелектричними покриттями*. Автореф. дис. канд. техн. наук. Харків, Моделіст.
5. Алехин С. Г. (2013) *Толщинометрия металлоконструкций на основе электромагнитно-акустического преобразования в импульсном магнитном поле*. Дис. канд. техн. наук. Москва, МНПО «Спектр».
6. Астафьев А. Н., Неволин О. В., Мамай А. М. и др. (2006) Универсальная приставка для стандартных ультразвуковых дефектоскопов и толщиномеров. *Дефектоскопия*, 7, 73–82.
7. Ohtsuka Y., Yoshimura T., Ueda Y. (2007) P2E-6 New Design of Electromagnetic Acoustic Transducer for Precise Determination of Defect. *2007 IEEE Ultrasonics Symposium Proceedings*, pp. 1609–1612. DOI: 10.1109/ULTSYM.2007.405.
8. Сучков Г. М., Алексеев Е. А., Захаренко В. В. (2006) Энерго- и ресурсосберегающие приборы и технологии неразрушающего контроля. *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*, 4, 29–34.
9. Wilcox P. D., M. Lowe J. S., Cawley P. (2005) The excitation and detection of Lamb waves with planar coil electromagnetic acoustic transducers. *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control. IEEE Journals & Magazines*, 52, 12, pp. 2370–2383. DOI: 10.1109/TUFFC.2005.1563281
10. Мышкин А. В. (2015) *Влияние конструктивных параметров многоэлементных фазированных преобразователей на формирование акустических полей*: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Ижевск, ИжГТУ.
11. Мигушченко Р. П., Сучков Г. М., Радев Х. К. и др. (2016) Электромагнитно-акустический преобразователь для ультразвуковой толщинометрии ферромагнитных металлоизделий без удаления диэлектрического покрытия. *Технічна електродинаміка*, 2, 78–82.



12. Plesnetsov S. Yu., Petrishchev O. N., Mygushchenko R. P. et al. (2018) Powerful sources of pulse high-frequency electromechanical transducers for measurement, testing and diagnostics. *Электротехника и Электромеханика*, **2**, 31–35.
13. Мигачев С. А., Куркин М. И., Смородинский Я. Г. (2016) Бесконтактное возбуждение звука в металле видеопимпульсом электрического поля. *Дефектоскопия*, **11**, 48–53.
14. Gurevich, S. Yu., Petrov, Yu. V., Shusharin, A. V., Golubev, E. V. (2009) Analysis of ultrasonic waves excited in a metal plate by nanosecond laser pulses. *Russian Journal of Nondestructive Testing*, **45**(4), 247–251.

**References**

1. Plesnetsov, S. Yu., Suchkov, G.M., Korzh, A.I., Suvorova, M.D. (2018) New theoretical investigations and developments in the field of electromagneto-acoustic transformation (Review). *Tekh. Diagnost. i Nerazrush. Kontrol*, **2**, 24–31 [in Russian].
2. Ermolov, I.N., Lange, Yu.V. (2004) Nondestructive testing: Refer. book. In: 7 Vol. Ed. by V.V. Klyuev. Vol.3: *Ultrasonic testing*. Moscow, Mashinostroenie [in Russian].
3. Suchkov, G.M. (2005) *Development of the theory and practice of manufacturing instruments for electromagnetoacoustic testing of metal products*. In: Syn. of Thesis for Dr. of Techn. Sci. Degree. Kharkov, NTU KhPI [in Russian].
4. Desyatnichenko, O.V. (2015) *Electromagnetoacoustic thickness meter for control of metal products with dielectric coatings*. In: Syn. of Thesis for Cand. of Techn. Sci. Degree. Kharkiv, Modelist [in Ukrainian].
5. Alyokhin, S.G. (2013) *Measurements of thickness of metal structures based on electromagnetoacoustic conversion in the pulsed magnetic field*. In: Syn. of Thesis for Cand. of Techn. Sci. Degree. Moscow, MNPO Spektr [in Russian].
6. Astafiev, A.N., Nevolin, O.V., Mamaj, A.M. et al. (2006) All-purpose attachment for standard ultrasonic flaw detectors and thickness meters. *Defektoskopiya*, **7**, 73–82 [in Russian].
7. Ohtsuka, Y., Yoshimura, T., Ueda, Y. (2007) P2E-6 New design of electromagnetic acoustic transducer for precise determination of defect. In: Proc. of 2007 *IEEE Ultrasonics Symposium*, 1609–1612. DOI: 10.1109/ULTSYM.2007.405.
8. Suchkov, G.M., Alexeev, E.A., Zakharenko, V.V. (2006) Energy and resources-saving instruments and non-destructive testing technologies. *Tekh. Diagnost. i Nerazrush. Kontrol*, **4**, 29–34 [in Russian].
9. Wilcox, P. D., M. Lowe, J. S., Cawley, P. (2005) The excitation and detection of Lamb waves with planar coil electromagnetic acoustic transducers. *IEEE Trans. on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control. IEEE Journals & Magazines*, **52**(12), 2370–2383. DOI: 10.1109/TUFFC.2005.1563281
10. Myshkin, A.V. (2015) *Effect of design parameters of multi-element of phased transducers on acoustic field formation*. In: Syn. of Thesis for Cand. of Techn. Sci. Degree. Izhevsk, IzhGTU [in Russian].
11. Migushchenko, R.P., Suchkov, G.M., Radev, Kh.K. et al. (2016) Electromagnetoacoustic transducer for ultrasonic thickness measurement in ferromagnetic metal products without removal of dielectric coating. *Tekhnichna Elektrody-namika*, **2**, 78–82 [in Russian].
12. Plesnetsov S. Yu., Petrishchev O. N., Mygushchenko R. P. et al. (2018) Powerful sources of pulse high-frequency electro-

- mechanical transducers for measurement, testing and diagnostics. *Elektrotehnika i Elektromekhanika*, **2**, 31–35.
13. Migachev, S.A., Kurkin, M.I., Smorodinsky, Ya.G. (2016) Contactless excitation of sound in metal by electric field video pulse. *Defektoskopiya*, **11**, 48–53 [in Russian].
14. Gurevich, S. Yu., Petrov, Yu. V., Shusharin, A. V., Golubev, E. V. (2009) Analysis of ultrasonic waves excited in a metal plate by nanosecond laser pulses. *Russian J. of Nondestructive Testing*, **45**(4), 247–251.

**НОВІ РОЗРОБКИ ЕЛЕКТРОМАГНІТНО-АКУСТИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ (ОГЛЯД)**

Г. М. СУЧКОВ, С. Ю ПЛЕСНЕЦОВ, С. Ю. МЕЩЕРЯКОВ, Н. М. ЮДАНОВА

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут». 61002, м. Харків, вул. Кирпичова, 2.  
E-mail: hpi.suchkov@gmail.com

Проведено аналіз інформаційних джерел з питань досліджень і розробки електромагнітно-акустичних перетворювачів. Встановлено значне розширення номенклатури ЕМА перетворювачів різного призначення, як для портативних, так і автоматичних засобів вимірювань, контролю, діагностики та оцінки фізико-механічних властивостей матеріалів. Бібліогр. 14, рис. 9.

Ключові слова: електромагнітно-акустичний перетворювач, ультразвукові хвилі, магнітне поле, джерело магнітного поля, об'єкт контролю, височастотне електромагнітне поле, котушка індуктивності, контроль, вимірювання, діагностика

**NEW DEVELOPMENTS OF ELECTROMAGNETOACOUSTIC TRANSDUCERS (REVIEW)**

G.M.SUCHKOV, S.Yu.PLESNETSOV, S.Yu.MESHECHERYAKOV, N.N.YUDANOVA

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute». 2 Kirpicheva str., 61002, Kharkiv.  
E-mail: hpi.suchkov@gmail.com

Information sources on the issues of investigation and development of electromagnetoacoustic transducers were analyzed. Considerable expansion was found in the range of EMA transducers for various purposes, both for portable and for automatic instruments for measurement, diagnostics and evaluation of physico-mechanical properties of materials. 14 Ref., 9 Fig.

Keywords: electromagnetoacoustic transducer, ultrasonic waves, magnetic field, magnetic field source, object of control, high-frequency electromagnetic field, induction coil, control, measurement, diagnostics

Поступила в редакцію  
20.06.2018

**НОВАЯ КНИГА**

**Мазур А. А. Очерки истории Патоновской научной школы:** Сборник. 2-е изд., испр., доп. Киев, ИЭС; Харьков, ФЛП Либуркина Л. М., 2018. — 216 с.

В сборнике представлена информация о всемирно известной Патоновской научно-инженерной школе в области сварки и родственных технологий, которая была создана выдающимся ученым академиком Е. О. Патоновом и развита достойным продолжателем его дела академиком Б. Е. Патоновом. Освещены основные этапы и принципы создания и развития этой школы, ее влияние на мировую сварочную науку и технику, вклад в обеспечение экономической и военной безопасности страны.

Сборник можно заказать в редакции журнала  
«Техническая диагностика и неразрушающий контроль».

# АВТОМАТИЗАЦИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ОБОРУДОВАНИЯ КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ

В. Т. КРИВОРУЧКО<sup>1</sup>, Н. И. НАВАЛЬНЕВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Харьков. Нац. ун-т строительства и архитектуры. 61002, г. Харьков, ул. Сумская, 40. E-mail: limbik@narod.ru

<sup>2</sup>Харьков. территориальный центр филиала НПЦ «ТЕХДИАГАЗ». 61002, г. Харьков, ул. Маршала Конева, 16.  
E-mail: shkorina-enburg@i.ua

Рассмотрены проблемы автоматизации геодезического мониторинга компрессорных станций газотранспортной системы Украины. Проанализированы особенности распределения температуры на территории газоконпрессорной станции. Рассмотрены процессы рефракции и методика вычисления поправок, а также схемы уменьшения влияния рефракционных погрешностей на результаты измерений. Показано, как при минимальных материальных затратах можно решать проблемы геодезического мониторинга оборудования компрессорных станций. Библиогр. 4, табл. 3, рис. 17.

*Ключевые слова:* автоматизация, геодезический мониторинг оборудования, газотранспортная система Украины, гидростатическая система, рефракция, опорные сети

**Цели и задачи исследований.** В работе [1] опубликована наша первая статья, посвященная геодезическому мониторингу компрессорных станций газотранспортной системы (ГТС) Украины. В данной статье рассмотрены основные проблемы геодезического мониторинга оборудования станций. В основном рассмотрены традиционные способы измерений, основанные на определении координат и отметок контрольных марок, выполняемых не в автоматическом режиме.

В составе ГТС имеется значительное количество компрессорных станций. На выполнение одного цикла измерений на одном объекте требуется один-два бригадодня. За один год одна бригада сможет выполнить только один цикл измерений, и то не на всех объектах системы. Такая частота наблюдений для объектов, относящихся к объектам наивысшей степени ответственности, совершенно не допустима. Единственным способом решения этой проблемы является полная автоматизация геодезических работ на основе автоматизированных систем геодезического мониторинга, которые обеспечат непрерывный контроль состояния объектов и передачу информации в единый центр.

Все контролируемые объекты на газоконпрессорной станции с точки зрения точности и степени ответственности можно разделить на две группы. К первой группе отнесем газотурбинный привод и центробежный нагнетатель (ГПА), а все остальные объекты отнесем ко второй группе [2].

Наиболее надежным способом автоматизации измерений оборудования, относящегося к первой группе объектов, является применение специальных автоматических систем, например, автоматической

пространственной системы гидростатического нивелирования [3]. Эти системы позволяют автоматически выполнять измерения с точностью от 0,01 мм.

Автоматизировать измерения второй группы объектов сложно, так как к ней относятся: технологическое оборудование, здания, трубопроводы и пр. Количество контрольных точек в данной группе может достигать нескольких сотен. Для автоматизации измерений данной группы объектов предлагается использовать роботизированные тахеометры.

Эта идея не нова. Данный способ применялся при строительстве Лондонского метро, в системах мониторинга строительных конструкций ЗАО «Совасатом-М», в разработках Швейцарской фирмы «Leica Geosystems» и на многих других объектах.

Целью настоящей работы является научно-техническое обоснование автоматизированного геодезического мониторинга оборудования компрессорных станций.

**Основные проблемы автоматической системы геодезического мониторинга.** Как отмечалось выше, для объектов первой группы лучшими средствами автоматизации являются пространственные автоматические системы нивелирования. Наиболее распространенными из этих систем являются гидростатические системы. Данная система полностью удовлетворяет требуемой точности измерений.

Критерием точности определения параметров положения фундаментов ГПА является предельно допустимая величина вертикальных смещений фундаментов в пределах их допустимых деформаций. Предельная точность определения величин деформаций фундаментов при применении

классических геодезических способов составляет 0,5 мм. Если требуется более высокая точность, существуют специальные средства измерений, обеспечивающие точность в пределах 0.001 мм. Наилучший результат получается при совокупном применении геодезических и геотехнических средств контроля. К последним относятся: струнные датчики напряжения арматуры, давления, температуры, шелемеры, инклинометры и пр.

Возможная схема пространственной системы контроля положения фундаментов турбоагрегатов приведена на рис. 1.

Для получения абсолютных значений система опирается на глубинные струнные реперы. В системе могут применяться гидростатические датчики или инклинометры. Однако системы гидростатического нивелирования подвержены влиянию вибрации, возникающей при работе агрегатов. Уменьшить влияние вибрации в таких системах можно путем мгновенного измерения уровня жидкости в датчиках, используя фотоцифровые преобразователи.

Перспективным направлением уменьшения влияния вибрации является применение систем, построенных на угловых датчиках и лазерных лучах. Системы такой конструкции полностью не инерционны, а, следовательно, не зависят от вибрации контролируемого объекта. Нами разработана подобная система, материалы которой находятся в стадии подготовки заявки на изобретение.

Точность определения величин смещений объектов второй группы (трубопроводов, установок по очистке и охлаждению газа, технологических зданий и пр.) принимается равной порядка 10 мм

(имеется в виду предельная средняя квадратическая погрешность).

Решение вопросов автоматизации измерений, относящихся ко второй группе объектов, сложная проблема. Эти сложности заключаются в следующем:

- выбор единого метода измерений для всех объектов;
- точность измерений, удовлетворяющая всем контролируемым объектам;
- полная автоматизация измерений и обработки их результатов;
- опорная сеть;
- способность системы контролировать большое (более 10) количество контрольных точек;
- измерительная система должна обеспечивать получение контролируемых абсолютных значений (относительно опорной сети) плановых и высотных параметров;
- оперативный и непрерывный контроль состояния сооружений с фиксацией критических параметров и передачей в реальном формате времени результатов измерений соответствующим службам.

Наиболее универсальной системой, обеспечивающей контроль положения различных объектов, является система, основанная на роботизированных тахеометрах. Особенностью таких тахеометров является полная автоматизация измерений, включая автоматическое наведение, передачу и обработку информации.

Тахеометр стационарно установлен на опорном пункте (рис. 2).

В процессе измерений он автоматически наводится на смежный опорный пункт и контрольные марки; завершаются измерения (замыкается горизонт) начальным опорным пунктом. Производится измерение горизонтальных направлений, вертикальных углов и расстояний. По этим данным вычисляются координаты контролируемых объектов.

**Рефракция.** При решении вопроса применения роботизированных тахеометров на газокompрессорных станциях неожиданно возникла одна проблема, которая может оказать существенное

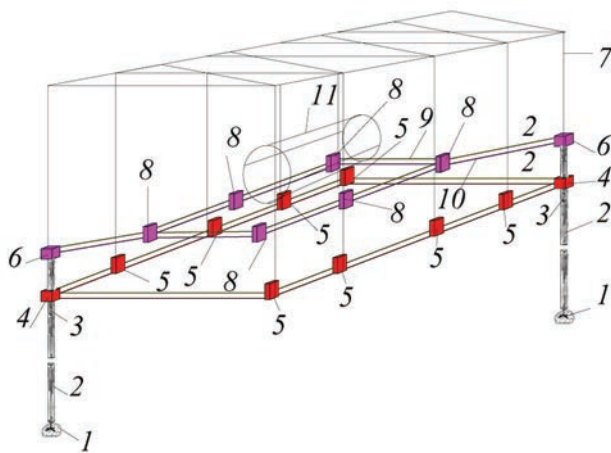


Рис. 1. Схема автоматической пространственной системы наблюдений за вертикальными деформациями турбоагрегатов: 1 – якорь; 2 – обсадная труба глубинного репера; 3 – инварная струна (стрежень); 4 – опорный датчик первого горизонта; 5 – контрольные датчики первого горизонта; 6 – опорный датчик второго горизонта; 7 – здание; 8 – контрольные датчики второго горизонта; 9 – трубопроводы (штанги) первого горизонта; 10 – трубопроводы (штанги) второго горизонта; 11 – турбоагрегат

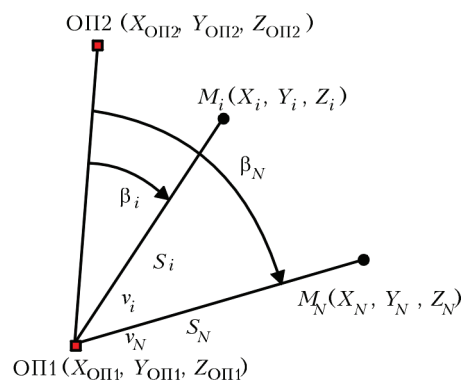


Рис. 2. Определение координат тахеометром



влияние на точность измерений. Оборудование газокomppressorных станций выбрасывает в атмосферу большое количества тепла, которое оказывает влияние на точность измерений. Это связано с боковой рефракцией.

Рефракция – изменение направления визирного луча вследствие изменения плотности воздуха. Различают боковую и вертикальную рефракции. Вертикальная рефракция оказывает влияние на точность определения высотных параметров, боковая рефракция приводит к погрешностям определения плановых координат объекта.

Особенностью газокomppressorных станций является наличие на их территории объектов с различным уровнем нагрева, вызванного теплом, выделяемым при работе газовых турбин и другого оборудования. На рис. 3 показано ориентировочное распределение температуры атмосферы на участке газокomppressorной станции. Как видно из приведенного рисунка, диапазон изменений температуры составляет 20...60 °С.

Известно, что на границе двух сред, имеющих разную плотность, луч света преломляется, то есть изменяет свое направление.

Имеем единичное пространство (рис. 4), состоящее из двух составных частей  $\Omega$  и  $\Psi$ , каждая из которых имеет свой показатель преломления  $\eta_1$  и  $\eta_2$ .

Показатель преломления  $\eta$  есть функция от температуры, давления, длины визирного луча и пр.:

$$\eta = \int_0^S F(P, T, K, S, dt) dS, \quad (1)$$

где  $P$  – атмосферное давление;  $T$  – абсолютная температура;  $K$  – коэффициент рефракции;  $S$  – длина визирного луча;  $dt$  – градиент температуры;  $dS$  – шаг интегрирования.

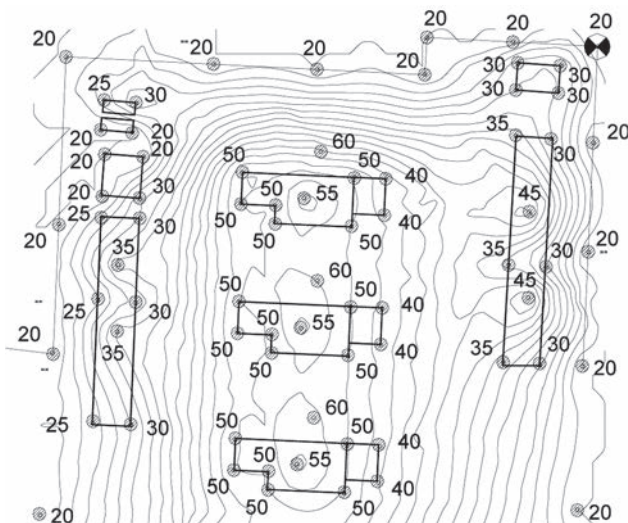


Рис. 3. Распределение температуры на территории газокomppressorной станции

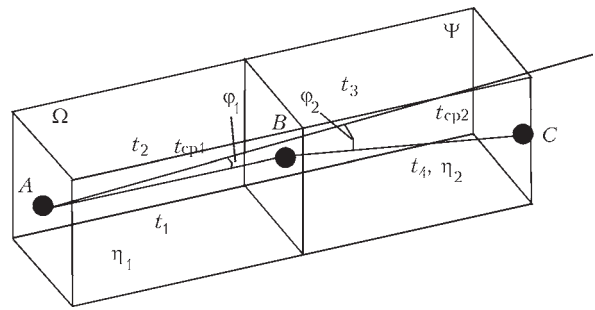


Рис. 4. Схема влияния боковой рефракции на угловые измерения

Зная показатели преломления сред согласно закону Снеллиуса [4], имеется возможность вычислить угол преломления исходя из следующей формулы:

$$\eta_1 \sin \varphi_1 = \eta_2 \sin \varphi_2, \quad (2)$$

где  $\eta_1, \eta_2$  – показатели преломления двух сред;  $\varphi_1, \varphi_2$  – угол между падающим на поверхность лучем и нормалью к этой поверхности (угол падения луча).

Согласно работе [5] для однородной среды угловая поправка в угловые направления вычисляется по следующим эмпирическим формулам:

$$\delta_{\text{Напр}} = \frac{10,6 P_{\text{cp}} S}{(273 + t_{\text{cp}})^2} dt_{\text{cp}}, \quad (3)$$

для неравномерного поля это выражение имеет вид:

$$\delta_{\text{Напр}} = \int_0^S \left[ \frac{10,6 P_{\text{cp}} S}{(273 + t_{\text{cp}})^2} dt_{\text{cp}} \right] dS, \quad (4)$$

где  $P_{\text{cp}}$  – среднее атмосферное давление;  $S$  – длина визирного луча;  $t_{\text{cp}}$  – средняя температура;  $dt_{\text{cp}}$  – температурный градиент;  $dS$  – шаг интегрирования.

Поправка за боковую рефракцию может вычисляться программно. Для этой цели на объекте в контрольных точках и в точках установки тахеометров устанавливаются термодатчики. По температурным измерениям строится температурное поле (рис. 3), по которому вычисляются температурные градиенты и поправки в направления.

Аналогично выполняется учет вертикальной рефракции. Для учета вертикальной рефракции совместно с поправкой за кривизну Земли можно также воспользоваться традиционной формулой, применяемой при тригонометрическом нивелировании

$$f = K \frac{D^2}{2R}, \quad (5)$$

где  $K$  – коэффициент рефракции;  $D$  – дальность;  $R$  – средний радиус Земли (6370 км).

Коэффициент вертикальной рефракции определяется путем измерения превышения на смежный опорный пункт с известной отметкой

$$K = (Stg(v) + i - V - h) \frac{2R}{D^2}, \quad (6)$$

где  $S$  – расстояние;  $v$  – угол наклона;  $i$  – высота инструмента;  $V$  – высота наведения;  $R$  – средний радиус Земли (6370 км);  $D$  – дальность.

При  $S = 304,1509$  м;  $v = 4^\circ 16' 35''$ ;  $i = 1,5$  м;  $V = 3,0$  м;  $R = 6370000$  м;  $D = 305$  м, получим  $K = 0,45$ .

Рассмотрим еще один способ значительного уменьшения влияния погрешностей определения координат за счет рефракции.

Координаты контрольных точек могут быть определены с одной опорной точки (рис. 5), с двух и более опорных точек (рис. 6).

В первом случае (рис. 5) погрешности за счет рефракции полностью войдут в результат измерений.

Во втором и третьем случаях (рис. 6), визирные лучи будут проходить в разных условиях, следовательно, произойдет частичная компенсация рефракционных погрешностей. Если опорные точки равномерно расположены вокруг определяемых точек, то компенсация рефракционных погрешностей будет наиболее максимальной за счет равномерного распределения визирных лучей по всей площадке.

Окончательный результат будет весовым средним из всех результатов измерений:

$$\Theta = \frac{\Theta_1 P_1 + \Theta_2 P_2 + \Theta_3 P_3 + \dots + \Theta_i P_i}{\sum P_i}, \quad (7)$$

где  $\Theta$  – окончательный параметр ( $X, Y, H$ );  $\Theta_i$  – измеренный параметр с одного направления;  $P_i$  – вес измерений ( $P = C/D$ );  $C$  – произвольное целое число.

**Схемы измерений.** Как видно из рис. 5 и 6, возможны два варианта схемы измерений. В первом случае (рис. 5) измерения выполняются с од-

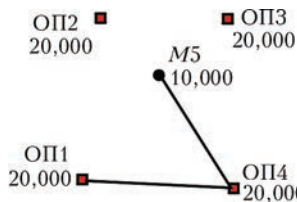


Рис. 5. Схема уменьшения влияния рефракционных погрешностей

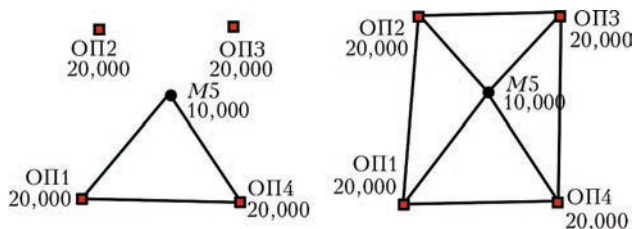


Рис. 6. Схема уменьшения влияния рефракционных погрешностей

ной станции, в других случаях (рис. 6) – с двух – четырех станций. Если измерения выполняются с одной станции, то контрольная марка-отражатель на контролируемом объекте устанавливается со стороны тахеометра (рис. 7).

В других случаях визировать на одну контрольную марку невозможно (рис. 8). В этих случаях вычисляются координаты эквивалентных точек, образованных пересечением линий визирования.

Координаты этих точек вычисляются по расстояниям от визирных точек до центра объекта и направлениям линий визирования (рис. 9).

**Опорные сети.** Возможны три варианта опорных сетей. Первый вариант – опорная сеть на основе систем спутникового определения координат. Второй вариант – опорная сеть на основе группы обратных отвесов. Третий вариант – комбинация первого и второго варианта.

Общая схема опорной сети на основе спутниковых систем определения местоположения приведена на рис. 10.

Данная схема опорной базисной сети обеспечит максимальную точность определения координат. Это достигается следующим. На некотором расстоянии от объекта закладываются три опорных пункта ПОБС1, ПОБС2, ПОБС3 (рис. 10). Эти пункты закладываются с учетом их взаимной видимости. Схема такого пункта приведена на рис. 11.

Определяются спутниковые координаты ( $X_1^{SP}, Y_1^{SP}, Z_1^{SP}, X_2^{SP}, Y_2^{SP}, Z_2^{SP}, X_3^{SP}, Y_3^{SP}, Z_3^{SP}$ ). Тахеометром

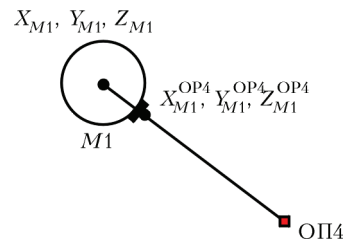


Рис. 7. Схема измерений с одной станции

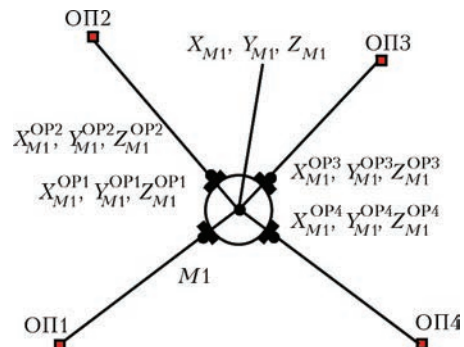


Рис. 8. Схема измерений с нескольких станций

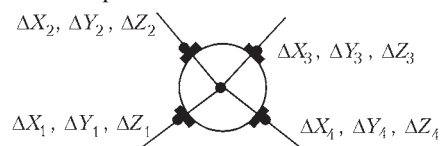


Рис. 9. Расчет координат эквивалентных точек

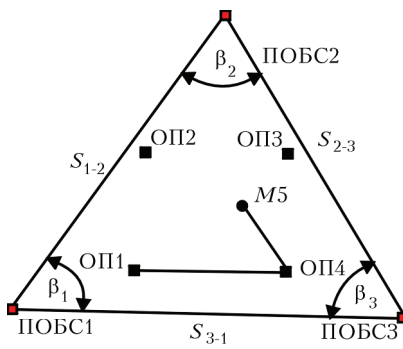


Рис. 10. Схема опорной сети на основе спутниковой системы определения местоположения: ПОБС1 – пункт опорной базисной сети; ОП1 – опорный пункт; М5 – контрольная марка  
измеряются расстояния ( $S_{1-2}$ ,  $S_{2-3}$ ,  $S_{3-1}$ ) и углы ( $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$ ). По измеренным углам, расстояниям и спутниковым координатам выполняется уравнивание. Полученные после уравнивания координаты  $X_1^{OPS}$ ,  $Y_1^{OPS}$ ,  $Z_1^{OPS}$ ,  $X_2^{OPS}$ ,  $Y_2^{OPS}$ ,  $Z_2^{OPS}$ ,  $X_3^{OPS}$ ,  $Y_3^{OPS}$ ,  $Z_3^{OPS}$  принимаются за исходные. На основе этих координат вычисляются дифференциальные поправки и уточняются координаты всех измеряемых точек.

Вопрос точности спутниковых определений координат не однозначен. Многие авторы утверждают, что точность таких определений достаточна для наблюдений за горизонтальными смещениями сооружений. Однако получить миллиметровую точность, когда измерения выполняются относительно одной базисной станции, практически невозможно. В этом случае компенсация погрешностей осуществляется только в секторе, охватывающем базовую станцию и определяемую точку (рис. 12).

Если измерения выполняются относительно трех базовых станций, образующих опорную базисную сеть (рис. 10), получаем навигационное поле, полностью перекрывающее всю площадку измерений (рис. 13).

Что дает такая система измерений?

1. Максимальная компенсация погрешностей измерений, связанных с распространением сигналов, погрешностей аппаратуры спутников и приемников, погрешностей, связанных с определением положения спутников.

2. Метрологическая корректность, когда спутниковые определения жестко связаны с наземными измерениями внутри опорной базисной сети.

По мнению авторов, только такая схема измерений может дать надежный и достаточно точный результат измерений (объем настоящей статьи не позволяет полностью раскрыть результаты исследований по данному вопросу).

Теперь рассмотрим второй вариант измерительной системы. Вариант, при котором в качестве опорной сети применяются обратные отвесы. Один из вариантов конструкции обратного отвеса приведен на рис. 5 работы [1].

Обратный отвес закладывается под мачтой, на которой установлен тахеометр (рис. 14).

В процессе измерений тахеометр отцентрирован относительно якоря обратного отвеса, заложенного в стабильных слоях грунта. Таким образом, сохраняется постоянное положение прибора. Существует проблема высотной привязки тахеометра. Она может быть осуществлена путем из-

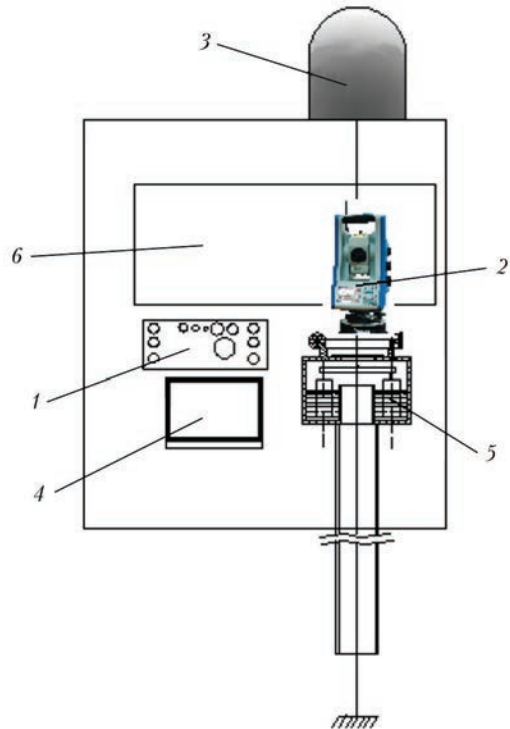


Рис. 11. Пункт опорной базисной сети: 1 – аппаратура базовой станции; 2 – тахеометр; 3 – антенна; 4 – компьютер; 5 – обратный отвес с центрирующим устройством; 6 – окно

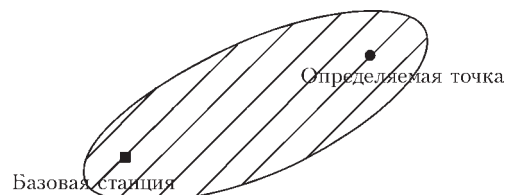


Рис. 12. Определение координат относительно одной базовой станции

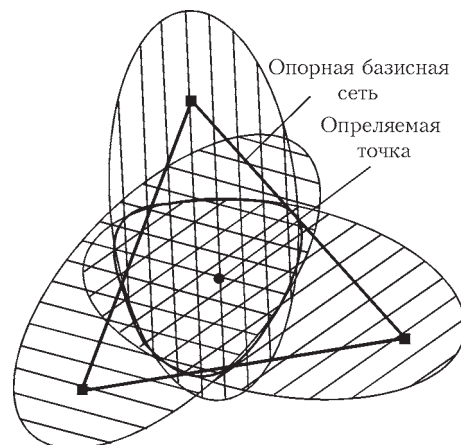


Рис. 13. Определение координат относительно опорной базисной сети





Рис. 14. Установка тахеометра над обратным отвесом

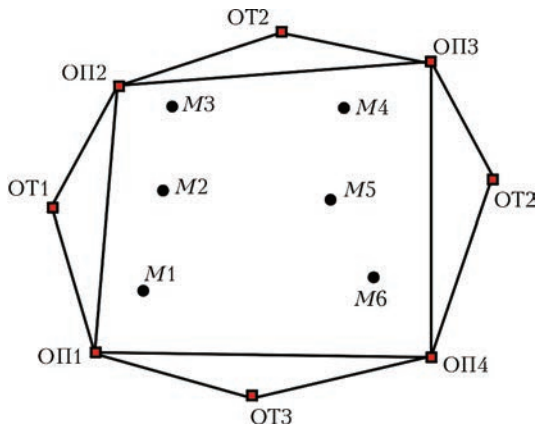


Рис. 15. Установка обратных отвесов вне опорных точек: ОП1 – опорные точки (тахеометрические станции); М1 – контрольные точки; ОТ1 – обратные отвесы

мерения расстояния от горизонтальной оси вращения трубы тахеометра до отсчетного индекса обратного отвеса или путем тригонометрической привязки тахеометра к внешним опорным реперам.

Геодезическую привязку тахеометров можно выполнить по обратным отвесам, заложенным по периметру площадки (рис. 15).

В этом случае система упрощается (не надо устанавливать обсадную трубу внутри мачты) и облегчается высотная привязка тахеометров, обратные отвесы используются как пункты высотной сети.

**Анализ точности измерений.** Подходим к одной из важнейших проблем исследований – это анализ точности измерений. Прежде всего определимся с необходимой и достаточной точностью проектируемых работ. Точность относительных вертикальных смещений элементов конструкций турбоагрегатов, исходя из оценки допустимых деформаций фундаментов, может оцениваться величиной порядка 0,1 мм. Для получения такой точности необходимо специальное прецизионное оборудование. На практике на подобных объектах (энергетические объек-

ты) эта проблема решается путем совместных геодезических измерений и измерений напряженного состояния бетона при помощи струнных датчиков, которыми должны быть оснащены объекты наивысшего класса ответственности, к которым относится газотранспортные объекты.

Точность определения абсолютных величин горизонтальных и вертикальных смещений второй группы объектов принимается равной 2 мм. Эта величина является предельной погрешностью. Средняя квадратическая погрешность в этом случае составит

$$\sigma = \delta/t, \quad (8)$$

где  $\sigma$  – предельная погрешность;  $t$  – степень доверия (для высокоточных измерений  $t = 3$ ).

Следовательно, при  $\delta = 2$  мм,  $\sigma = 0,6$  мм.

Полученная точность достаточно высокая, требующая применения специальных высокоточных методик измерений, если учесть что размеры площадок компрессорных станций могут достигать размеров 0,5×0,5км.

Расчет выполняется методом моделирования погрешностей. Результат измерений  $x$  можно описать следующим выражением:

$$x = x_0 \pm t\sigma, \quad (9)$$

где  $x_0$  – вероятнейшее значение измеряемой величины;  $t$  – степень доверия;  $\sigma$  – средняя квадратическая погрешность результатов измерений.

На основе выражения (9) выполняется моделирование расчетных величин результатов измерений

$$X_i = X_0 + K\delta, \quad (10)$$

где  $X_0$  – измеряемый параметр, полученный из проекта сети;  $K$  – случайное число в диапазоне  $-1 \div +1$ ;  $\delta$  – нормативная точность измерений.

Смоделированные результаты измерений вычисляются по формуле (10). Сеть уравнивается обычными способами. По результатам уравнивания вычисляются искомые величины  $\mathfrak{R}_i$ .

Разность параметра  $\mathfrak{R}_i$ , полученного после уравнивания, и параметра  $\mathfrak{R}_0$ , полученного из проекта сети, даст точность  $\Delta\mathfrak{R}_i$  искомого параметра

$$\Delta\mathfrak{R}_i = \mathfrak{R}_i - \mathfrak{R}_0, \quad (11)$$

где  $\mathfrak{R}_i$  – результаты уравнивания по расчетным погрешностям;  $\mathfrak{R}_0$  – искомый параметр, полученный из проекта.

На основе приведенной методики были проведены расчеты точности проектируемых сетей. Расчет точности выполнен исходя из следующих исходных данных:

- точность угловых измерений  $\delta_\beta = 2$  мм;
- точность линейных измерений  $\delta_s = 2$  мм;
- точность определения отметок контрольных точек  $\delta_H = 2$  мм;
- схемы сети;

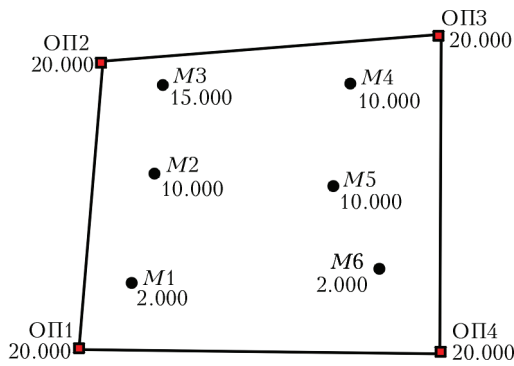


Рис. 16. Схема измерительной сети: ОП1 – опорные пункты; М2 – контрольные марки на турбоагрегатах; М1 – контрольные марки на наземных объектах (трубопроводы); М3 – контрольные марки на сооружениях башенного типа; М4 – контрольные марки на технологических зданиях

Таблица 3. Результаты расчета точности высотных определений

Номер п/п	Номер точек	СКП определения отметок, мм	Номер п/п	Номер точек	СКП определения отметок, мм
1	М1	0,54	4	М4	0,56
2	М2	0,57	5	М5	0,60
3	М3	0,51	6	М6	0,57

– проектные координаты исходных пунктов;  
– проектные координаты определяемых пунктов;

– смоделированные результаты измерений.

Общая схема сети приведена на рис. 16.

Расчет точности выполнен по двум схемам измерений (рис. 17). Схема, приведенная на рис. 17, а обеспечивает максимальную компенсацию рефракционных погрешностей. Схема на рис. 17, б дает максимальную точность измерений за счет использования минимальных расстояний.

Результаты расчета точности приведены в табл. 1–3.

Как видно из результатов расчетов, максимальная точность контролируемых параметров достигается в системах с двумя тахеометрами, она не превысила инструментальную точность приборов. Высотные параметры получены с точностью менее 1 мм. При этом следует учесть, что при расчетах не учитывались погрешности опорной сети и внешних условий. Для второй группы объектов это приемлемая точность измерений.

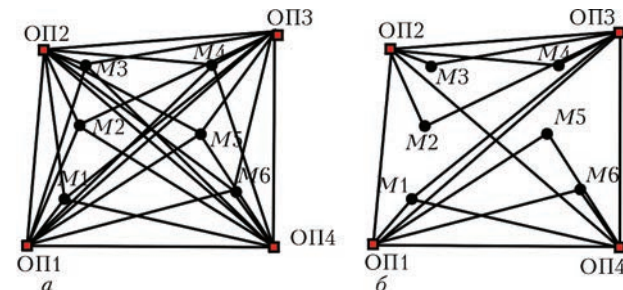


Рис. 17. Расчетные схемы измерений

Таблица 1. Результаты расчета точности по первой схеме измерений согласно рис. 17, а

Номер точек	Расчетная СКП определения координат контрольных марок по осям, мм		Суммарная СКП определения координат контрольных марок, мм
	X	Y	
М1	1,4	1,1	1,8
М2	1,5	1	1,8
М3	0,1	1,6	1,6
М4	1,1	1,5	1,9
М5	1,4	1,3	1,9
М6	1,5	1,2	1,9

Таблица 2. Результаты расчета точности по второй схеме измерений согласно рис. 17, б

Номер точек	Расчетная СКП определения координат контрольных марок по осям, мм		Суммарная СКП определения координат контрольных марок, мм
	X	Y	
М1	1,8	1,5	2,3
М2	2,0	1,3	2,4
М3	1,0	2,2	2,4
М4	1,2	2,1	2,4
М5	2,0	1,7	2,6
М6	1,9	1,1	2,2

### Закключение

В настоящее время разработано и применяется разнообразное оборудование для инженерного мониторинга положения конструкций сложных и ответственных объектов. Особенностью такого оборудования является, то, что оно базируется на новейших достижениях электроники. Однако все подобные системы, как правило, измеряют относительные параметры, исключение составляют системы спутниковых определений координат. Рассматриваемая система создана геодезистами с учетом получения абсолютных значений контролируемых параметров. Это очень важно с учетом того, что многие объекты находятся в зонах, подверженных оползневым явлениям.

Опыт проведения геодезического мониторинга гидротехнических сооружений показал, что наилучший результат дает совокупность геодезических и геотехнических методов измерений. Инклинометры, угловые датчики, акселерометры, струнные датчики давления, напряжения арматуры и бетона, температуры, щелемеры в совокупности с обратными и прямыми отвесами с цифровыми датчиками положения струн, роботизированные тахеометры, лазерные трекеры и сканеры позволяют создать надежную полностью автоматизированную систему инженерного

мониторинга ответственных объектов. Затраты на их разработку и эксплуатацию окупятся временем на получение достоверных результатов по геодезическому контролю и, как следствие, надежной и безаварийной эксплуатацией газотранспортной системы в целом.

**Список литературы**

1. Криворучко В. Т., Навальнев М. И. (2016) Инженерный геодезичний моніторинг фундаментів обладнання компресорних станцій. *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*, 4, 40–46.
2. Кудря В. Д., Навальнев Н. И. (2017) *Комплексная диагностика энергомеханического оборудования и ее информационно-контрольное обеспечение. Идея и механизм реализации*. Харьков, Факт.
3. Криворучко В. Т. (1983) *Разработка пространственной автоматизированной системы гидростатического нивелирования*. Дис. на соискание ученой степени канд. тех. наук: 61 85-5/3989: 05.24.01. Киев.
4. Загребин Д. В. (1966) *Введение в астрометрию*. Москва–Ленинград.
5. Ключин Е. Б., Киселев М. И., Михелев Д. Ш., Фельдман В. Д. (2004) *Инженерная геодезия: Учебник для вузов*. Михелев Д. Ш. (ред.). Москва, Издательский центр «Академия».

**References**

1. Krivoruchko, V.T., Navalnev, M.I. (2016) Engineering geodesic monitoring of compressor station equipment foundations. *Tekh. Diagnost. i Nerazrush. Kontrol*, 4, 40–45 [in Russian].
2. Kudrya, V.D., Navalnev, N.I. (2017) *Complex diagnostics of power mechanical equipment and its information-control support. Idea and mechanism of realization*. Kharkov, Fakt [in Russian].
3. Krivoruchko, V.T. (1983) *Development of 3D automated system of hydrostatic leveling*. In: Syn. of Thesis for Cand. of Techn. Sci. Degree. Kiev [in Russian].
4. Zagrebin, D.V. (1966) *Introduction to astrometry*. Moscow-Leningrad [in Russian].
5. Klyushin, E.B., Kiselev, M.I., Mikhelev, D.Sh., Feldman, V.D. (2004) *Engineering geodesics*. In: Manual for higher education institutes. Ed. by D. Sh.Mikhelev. Moscow, Izd. Tsentr Akademiya [in Russian].

**АВТОМАТИЗАЦІЯ ГЕОДЕЗИЧНОГО МОНІТОРИНГУ  
УСТАТКУВАННЯ КОМПРЕСОРНИХ СТАНЦІЙ**

В. Т. КРИВОРУЧКО<sup>1</sup>, М. І. НАВАЛЬНЄВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Харків. Нац. ун-т будівництва та архітектури. 61002,

м. Харків, вул. Сумська, 40. E-mail: limbik@narod.ru  
<sup>2</sup>Харків. територіальний центр філії НВЦ «ТЕХДІАГАЗ». 61002, м. Харків, вул. Маршала Конєва, 16. E-mail: shkorina-  
enburg@i.ua

Розглянуто проблеми автоматизації геодезичного моніторингу компресорних станцій газотранспортної системи України. Проаналізовано особливості розподілу температури на території газокompресорної станції. Розглянуто процеси рефракції й методика обчислення поправок, а також схеми зменшення впливу рефракційних похибок на результати вимірів. Показано, як при мінімальних матеріальних витратах можна вирішувати проблеми геодезичного моніторингу устаткування компресорних станцій. Бібліогр. 4, табл. 3, рис. 17.

Ключові слова: автоматизація, геодезичний моніторинг устаткування, газотранспортна система України, гідростатична система, рефракція, опорні мережі

**AUTOMATION OF GEODESIC MONITORING OF  
COMPRESSOR STATION EQUIPMENT**

V.T. KRIVORUCHKO<sup>1</sup>, N.I. NAVALNEV<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kharkiv National University of Construction and Architecture, 40 Sumska str., 61002, Kharkiv, Ukraine.

E-mail: limbik@narod.ru

<sup>2</sup>Kharkiv Territorial Center of the Branch of SPC «TEKHDIAGAS», 16 Marshal Konev str., 61002, Kharkiv.

E-mail: shkorina-enburg@i.ua

Some problems of automation of geodesic monitoring of compressor stations of gas transportation system of Ukraine are considered. Features of temperature distribution in the territory of a gas compressor station are analyzed. Considered are the processes of refraction and method of correction calculation, as well as the schemes of decreasing the influence of refraction errors on measurement results. The possibility of solving the problems of geodesic monitoring of compressor station equipment at minimum material costs is shown. 4 Ref., 3 Tables, 17 Fig.

Keywords: automation, geodesic monitoring of equipment, gas transportation system of Ukraine, hydrostatic system, refraction, core networks

Поступила в редакцію  
13.09.2018

**Новая книга**

ISBN 978-617-7015-74-0

**Физические процессы при сварке и обработке материалов. Теоретическое исследование, математическое моделирование, вычислительный эксперимент:** Сб. статей и докладов под ред. акад. НАН Украины И.В. Кривцуна. — Киев: Международная Ассоциация «Сварка», 2018. — 642 с.

Сборник включает 86 статей и докладов сотрудников отдела физики газового разряда и техники плазмы института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, опубликованных за период 1978–2018 гг. В нем обобщен сорокалетний опыт научно-исследовательской деятельности отдела в области теоретического исследования и компьютерного моделирования физических явлений, протекающих при дуговых, плазменных, лазерных и гибридных процессах сварки, наплавки и напыления покрытий. Может быть интересен и полезен ученым, инженерам и технологам, занимающимся проблемами дуговой, плазменной, лазерной и гибридной сварки и обработки материалов, а также аспирантам и студентам, изучающим теоретические основы сварочных и родственных процессов.





## ОСОБЕННОСТИ ВИБРАЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В ПРОКАТНЫХ КЛЕТЯХ

В. В. ВЕРЕНЕВ<sup>1</sup>, А. В. БАГЛАЙ<sup>2</sup>, С. В. БЕЛОДЕДЕНКО<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт черной металлургии НАН Украины им. З. И. Некрасова.

49107, г. Днепр, пл. Академика Стародубова, 1. E-mail: verenev0704@gmail.com

<sup>2</sup>ДП «Диамех-Украина». 61105, г. Харьков-105, ул. Киргизская, 19, АБК-1. E-mail: baglay@diamech.com.ua

<sup>3</sup>Национальная металлургическая академия Украины. 49600, г. Днепр, пр-т Гагарина, 4. E-mail: sergeibelo@gmail.com

При разработке систем диагностики для прокатных станов необходимо учитывать два режима работы: переходный при захвате полосы валками и установившийся во время холостого хода и прокатки. Показано, что измерение вибросигналов переходных процессов следует проводить, прежде всего, с учетом сочетаний наилучшего и наилучшего состояния шпиндельного и моторного участков линии привода. В этом случае существенно повышается достоверность определения износа и угловых зазоров в сочленениях. Диагностирование в стационарном режиме работы осуществляется так же, как и для роторных машин, в результате чего устанавливают поломки подшипников, зубчатых зацеплений и др., что не определяется при захвате полосы. Библиогр. 5, табл. 1, рис. 4.

*Ключевые слова:* прокатная клеть, линия привода, динамика, износ, зазоры, вибрация, диагностика

Существенное влияние на ударные нагрузки, формирующиеся в прокатных станах в период захвата полосы валками, оказывают угловые зазоры в сочленениях линии главного привода, зависящие от износа элементов [1]. Чем больше зазоры, тем больше, в частности, максимальное пиковое значение крутящего момента. В свою очередь динамические нагрузки оказывают отрицательное влияние на долговечность оборудования [2, 3]. Поэтому одной из актуальных задач для внедряемых на станах вибрационных диагностических систем является определение текущего состояния сочленений линии привода в части их износа и угловых зазоров.

Однако прокатные станы по технологическим и режимным условиям работы существенно отличаются от роторных машин, на которых наиболее распространено применение системы мониторинга и диагностики состояния оборудования. Поэтому поставленная в работе задача состоит в том, чтобы раскрыть особенности и закономерности изменения технического состояния совместно с ударными нагрузками в процессе длительного периода эксплуатации клетей с учетом сроков фактических ремонтных воздействий. Это позволяет определить периоды, когда результаты виброизмерений в переходных режимах захвата полосы валками приносят наибольшую диагностическую эффективность.

Первая особенность состоит в разных периодах обслуживания двух основных участков – шпиндельного и моторного (редуктор – двигатель) (рис. 1). Замену шпинделей по износу бронзовых вкладышей осуществляют через 15...60 суток в зависимости от типа и условий

работы стана. Плановое техническое обслуживание редукторов осуществляется раз в год во время капитального ремонта. Поэтому в процессе эксплуатации образуются различные сочетания технического состояния указанных двух участков, из которых выделим основные (рис. 2).

1. Нормальное (хорошее) состояние обоих участков в начальный период после капитального ремонта шестеренной клетки, редуктора, муфт, установки шпинделей с новыми бронзовыми вкладышами.

2. Максимальный износ бронзовых вкладышей в шпинделях (перед заменой) при хорошем состоянии участка редуктор – двигатель.

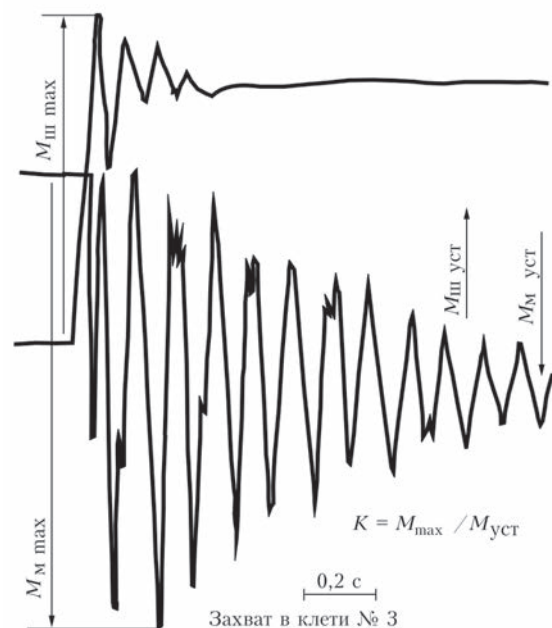


Рис. 1. Переходный процесс по моменту на шпиндельном участке (ш) и промежуточном валу (м) между двигателем и редуктором при захвате полосы валками. Стан 2000

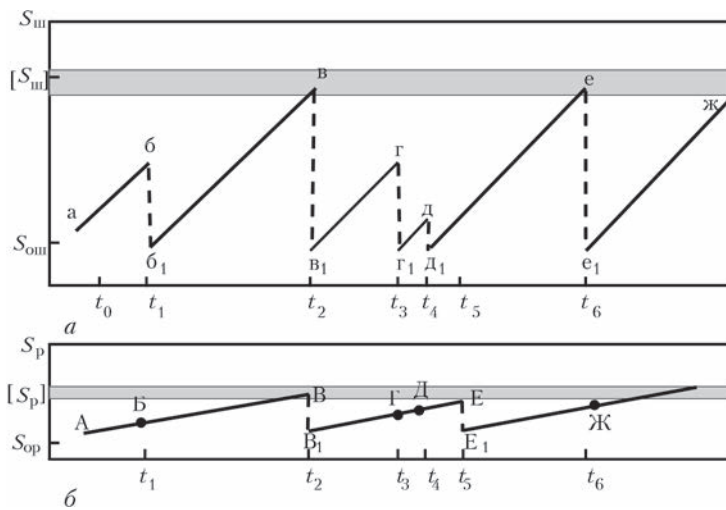


Рис. 2. Развитие износа на шпиндельном (а) и моторном (б) участках в процессе длительной эксплуатации клетки № 3 с учетом дат технического обслуживания главной линии в соответствии с таблицей.  $[S_{ш}] = 5 \dots 6$  мм допустимое значение износа бронзовых вкладышей;  $[S_p] = 1$  мм – то же для зубчатых зацеплений участка редуктор – двигатель;  $[S_0]$  – начальный зазор

3. Максимальный износ зубчатых зацеплений редуктора и муфт при установке шпинделей с новыми вкладышами (хорошее состояние шпиндельного участка).

4. Наихудшее состояние обоих участков линии привода наступает непосредственно перед капитальным ремонтом, когда их износ наибольший.

Вторая особенность состоит в следующем: а – износ и угловые зазоры на шпиндельном участке приводят к увеличению динамики как на этом участке, так и на участке редуктор – двигатель; б – износ на моторном участке влияет только на динамику этого участка.

Максимальные динамические перегрузки при захвате полосы валками оценивают коэффициентом

том динамичности  $K$  (рис. 1). Результаты математического моделирования с учетом фактических дат технического обслуживания (см. таблицу) и износа согласно рис. 2 показали следующее (рис. 3). Из-за износа и образования зазоров на обоих участках их динамика во времени носит периодический пило- скачкообразный вид. Он диктуется техническим состоянием (ТС) участков. Вначале происходит постепенное увеличение коэффициента динамичности, а после замены шпинделей с изношенными вкладышами значения  $K$  резко уменьшаются.

Рассмотрим совместно графики на рис. 2 и 3 с учетом данных таблицы. После установки в момент  $t_1$  (20.03.2001 г.) шпинделей с новыми вкладышами ТС шпиндельного участка восстановилось (т. «б», рис. 2, а), динамика обоих участков уменьшилась (т. «В» и «в», рис. 2). Однако ТС моторного участка продолжало ухудшаться (линия А-Б-В, рис. 2, б). До момента  $t_2$  (29.10.2001 г.) замены шпинделей их наработка составила 8 месяцев. Динамика возрастала по линиям «В-Г» и «в-г», а износ – по «б<sub>1</sub>-в» и «Б-В». Измерения момента перед заменой шпинделей показали наибольшую динамику, что неплохо согласуется с расчетной кривой. Одновременно в момент  $t_2$  заменили входной вал и блок колес. Поэтому произошло существенное уменьшение не только  $K_{ш}$ , но и  $K_m$ .

Момент  $t_2$  интересен тем, что перед ремонтом, т. е. при  $t_2^-$ , состояние обоих участков было наихудшим (вариант 4), а после ремонта ( $t_2^+$ ) наилучшим (вариант 1). Поэтому измерения крутящего

Данные агрегатного журнала об отказах и ремонтах оборудования клетки № 3

Дата	Вид ремонта	№ клетки	Место отказа		Вид отказа	Вид восстановления	
05.12.00	Ремонт тек.	3	Шпиндели	Вкладыши	Выработка	Замена, шпиндели	
02.03.01	Ремонт тек.	3	->-	->-	->-	->-	
09.08.01	Ремонт тек.	3	->-	->-	->-	Замер, зазоры	
28.08.01	Ремонт тек.	3	->-	->-	->-	->-	
13.09.01	Ремонт тек.	3	->-	->-	->-	->-	
29.10.01	Ремонт кап.	3	Редуктор ЦД4-320	Вал входной	Зацепление правое	Трещина	Замена, вал входной
29.10.01	Ремонт кап.	3	Редуктор ЦД4-320	Блок колес	->-	Поломка 1 зуб.	Замена, блок колес
29.10.01	Ремонт кап.	3	Редуктор ЦД4-326	Вал выходной	Пш	Износ	Замер, зазоры
29.10.01	Ремонт кап.	3	Шпиндели	Вкладыши	Выработка	Замена, шпиндели	
06.03.02	Ремонт тек.	3	->-	->-	->-	->-	
23.04.02	Ремонт тек.	3	->-	Головка	Дефекты	Демонтаж	
07.05.02	Ремонт тек.	3	Редуктор ЦД4-326	Вал входной	Зацепление левое	Поломка 10 зуб.	Осмотр
23.05.02	Ремонт тек.	3	Редуктор ЦД4-320	->-	->-	Поломка	Замена, вал входной
23.05.02	Ремонт тек.	3	Редуктор ЦД4-320	Блок колес	Зацепление	Износ	Замена, блок колес
05.11.02	Ремонт тек.	3	Шпиндели	Вкладыши	Выработка	Замена, шпиндели	

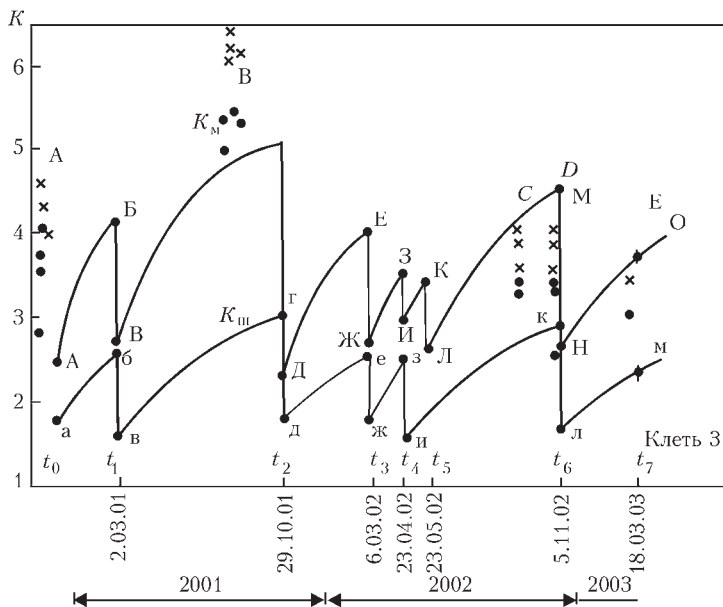


Рис. 3. Зависимость коэффициента динамичности на моторном  $K_M$  и шпиндельном  $K_{ш}$  участках во время эксплуатации клетки №3 стана 1680 с учетом дат технического обслуживания шпинделей (с заменой бронзовых вкладышей) и редуктора (замена зубчатых передач):  $\times$ ,  $\bullet$  – максимальные и средние значения  $K_M$  в разные периоды измерений

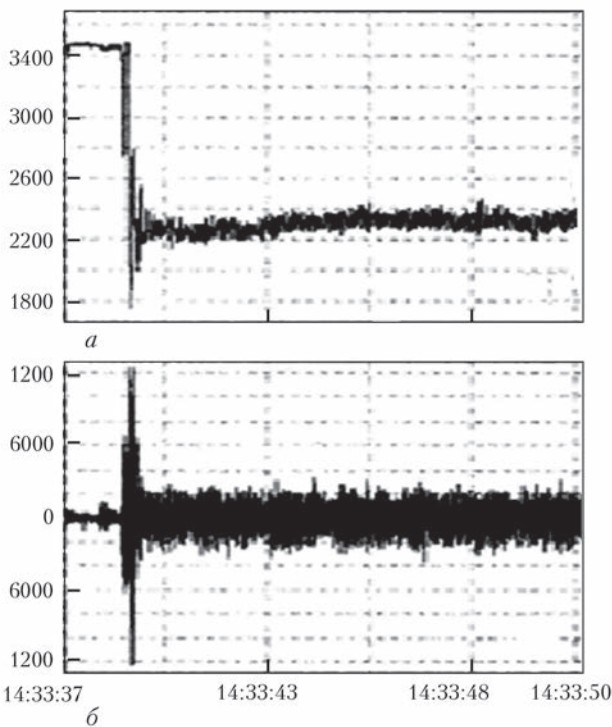


Рис. 4. Момент на промежуточном валу (а) и вибрация корпуса редуктора (б) при холостом ходе, захвате полосы валками и прокатке

момента и вибрации непосредственно перед капитальным ремонтом и сразу после него позволяют получить образцы «наихудших» и «наилучших» сигналов, связанных с ТС оборудования, а их сравнение между собой сделать правильные диагностические выводы. Очевидно, что измерения вокруг других точек  $t_i^-$  и  $t_i^+$ , отмеченных на рис. 2 и 3 также обеспечивают достаточно высокую информативность. Несмотря на то, что им со-

ответствуют промежуточные сочетания состояния участков.

В связи с изложенным предлагается вести построение текущих кусочно-линейных зависимостей согласно рис. 2, экстраполировать их во время межремонтного периода и назначать дату измерений с учетом отмеченных сочетаний ТС участков. При таком подходе к процедуре организации измерений параметров переходных процессов удастся максимально использовать весьма информативный режим захвата полосы для определения износа и угловых зазоров в сочленениях крутильной системы линии привода валков [4].

При использовании системы диагностики на прокатных станах в режиме стационарного вращения могут применяться известные методы и способы определения ТС для роторных машин. В этом случае распознается другой вид износа и неисправностей, в частности, подшипников и зубчатых зацеплений: дефекты тел качения и сепаратора, зацепления, муфт, дефекты смазки, несоосность и др. [5]. В переходных режимах эти дефекты не успевают себя проявить. В свою очередь в стационарном режиме не проявляются износ и зазоры в сочленениях линии привода, поскольку она находится в напряженном состоянии. Особые требования к условиям работы клетки здесь не предъявляются, они подобны требованиям для роторных машин: при разных частотах вращения, нагрузках, холостой и рабочий режим и др.

Таким образом, в переходном и стационарном режимах работы прокатной клетки с помощью системы диагностики решаются разные задачи. В этих режимах по разному откликаются измеряемые сигналы на возмущения, как это заметно на рис. 3. В холостом режиме перед захватом полосы вибрация отсутствовала. При захвате полосы наблюдается реакция момента и вибрации ударного вида, после захвата, т.е. под нагрузкой вибрация увеличилась.

**Выводы**

1. При разработке систем диагностирования клеток прокатных станов необходимо учитывать высокую информативность переходных процессов в режимах захвата полосы валками, параметры которых тесно связаны с износом и угловыми зазорами в сочленениях линии привода.
2. Диагностические измерения вибросигналов в таком режиме наиболее эффективны прежде всего в периоды сочетаний наихудшего и наилучшего состояния шпиндельного и моторного участков, т. е. перед и после ремонтов.



3. В стационарном режиме работы клетки (холостой или рабочий) могут быть применимы известные методы и способы диагностирования для роторных машин.

4. Использование в диагностических целях переходного и стационарного режимов работы оборудования существенно расширяет и углубляет диагностику прокатных клетей и повышает ее эффективность.

**Список литературы**

1. Веренев В. В., Большаков В. И., Путноки А. Ю. и др. (2011) *Динамические процессы в клетях широкополосного стана 1680*. Днепропетровск, ИМА-пресс.
2. Клименко В. Н., Коновалов Л. В., Горелик В. С. (1976) *Режимы нагружения и прочность прокатных станов*. Киев, Техника.
3. Гребеник В. М., Цапко В. К. (1989) *Надежность металлургического оборудования (оценка эксплуатационной надежности и долговечности)*. Справочник. Москва, Металлургия.
4. Веренев В. В., Большаков В. И., Путноки А. Ю. и др. (2007) *Диагностика и динамика прокатных станов*. Днепропетровск, ИМА-пресс.
5. Барков А. В., Баркова Н. А., Азовцев А. Ю. (2000) *Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации*. Санкт-Петербург, Изд. Центр СПбГМУ.

**References**

1. Verenev, V.V., Bolshakov, V.I., Putnoki, A.Yu. et al. (2011) *Dynamic processes in broad-strip rolling mill stands 1680*. Dnepropetrovsk, IMA-press [in Russian].
2. Klimenko, V.N., Konovalov, L.V., Gorelik, V.S. (1976) *Loading modes and strength of rolling mills*. Kiev, Tekhnika [in Russian].
3. Grebenik, V.M., Tsapko, V.K. (1989) *Reliability of metallurgical equipment (estimation of reliability and service life)*. In: Refer. book. Moscow, Metallurgiya [in Russian].
4. Verenev, V.V., Bolshakov, V.I., Putnoki, A.Yu. et al. (2007) *Diagnostics and dynamics of rolling mills*. Dnepropetrovsk, IMA-press [in Russian].
5. Barkov, A.V., Barkova, N.A., Azovtsev, A.Yu. (2000) *Monitoring and diagnostics of rotary machines for vibration*. St.-Petersburg, Izd. Tsentr SPbGMU [in Russian].

**ОСОБЛИВОСТІ ВІБРАЦІЙНИХ ВИМІРІВ  
В ПРОКАТНИХ КЛІТЯХ**

В. В. ВЕРЕНЕВ<sup>1</sup>, А. В. БАГЛАЙ<sup>2</sup>, С. В. БЕЛОДЕДЕНКО<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Інститут чорної металургії НАН України ім. З. І. Некрасова, 49107, м. Дніпро, пл. Академіка Стародубова, 1. E-mail: verenev0704@gmail.com

<sup>2</sup>ДП «Діамех-Україна». 61105, м. Харків-105, вул. Киргизька, 19, АБК-1. E-mail: baglay@diamech.com.ua

<sup>3</sup>Національна металургійна академія України. 49600, м. Дніпро, пр-т Гагаріна, 4. E-mail: sergeibelo@gmail.com

При розробці систем діагностики для прокатних станів необхідно враховувати два режими роботи: перехідний при захопленні смуги валками і сталий під час холостого ходу і прокатки. Показано, що вимірювання вібросигналів перехідних процесів слід проводити, перш за все, з урахуванням поєднаних найгіршого і найкращого стану шпindelного і моторного ділянок лінії приводу. В цьому випадку істотно підвищується вірогідність визначення зносу і кутових зазорів в з'єднаннях. Діагностування в стаціонарному режимі роботи здійснюється так, як і для роторних машин, в результаті чого встановлюють поломки підшипників, зубчастих зачеплень та ін., що не визначається при захопленні смуги. Бібліогр. 5, табл. 1, рис. 4.

Ключові слова: прокатна кліть, лінія приводу, динаміка, знос, зазори, вібрація, діагностика

**FEATURES OF VIBRATION MEASUREMENTS IN ROLLING STANDS**

V.V. VERENEV<sup>1</sup>, A.V. BAGLAI<sup>2</sup>, S.V. BELODEDENKO<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Z.I.Nekrasov Institute of Ferrous Metallurgy of NASU, 1 Acad. Starodubov str., 49107, Dnepr. E-mail: verenev0704@gmail.com

<sup>2</sup>SC "Diamekh-Ukraine". 19 Kirgizskaya str., 61105, Kharkiv-105, ABK-1. E-mail: baglay@diamech.com.ua

<sup>3</sup>National Metallurgical Academy of Ukraine, 4 Gagarin Ave., 49600, Dnepr. E-mail: sergeibelo@g.mail.com

Development of diagnostic systems for rolling mills should take into account two operation modes: transition at strip gripping by the rolls and steady during idle-running and rolling. It is shown that measurement of vibration signals of transition processes should be conducted, primarily, allowing for the combinations of the worst and the best states of the spindle and motor sections of the drive line. In this case, the accuracy of determination of wear and clearance angles in the junctions is essentially increased. Diagnostics in the stationary operating mode is conducted similar to rotary machines. It results in finding breakage of bearings, gearing, etc. that is not determined at strip gripping. 5 Ref., 1 Table, 4 Fig.

Keywords: rolling stand; drive line, dynamics, wear, clearances, vibration

Поступила в редакцію  
21.03.2018



Інститут електросварки ім. Е.О. Патона НАН України  
НТУ України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сикорського»

Международная Ассоциация «Сварка»

**IX МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
ЛУЧЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СВАРКЕ**

**И ОБРАБОТКЕ МАТЕРИАЛОВ**

9–13 сентября 2019 г., Одесса, Украина

<http://pwi-scientists.com/eng/ltwmp2019>

Тел.: (38044) 200-82-77

# ІДЕНТИФІКАЦІЯ РИЗИКІВ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ЗВАРНИХ КОНСТРУКЦІЙ ДЛЯ ВПРОВАДЖЕННЯ РИЗИК-МЕНЕДЖМЕНТУ НА ПІДПРИЄМСТВІ

Ю. К. БОНДАРЕНКО, О. В. КОВАЛЬЧУК

ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: [office@paton.kiev.ua](mailto:office@paton.kiev.ua)

Визначені умови побудови системи менеджменту підприємства зварювального виробництва на підставі нових міжнародних вимог. Планування діяльності підприємства і технічне регулювання ґрунтується на основі ризик-орієнтованого підходу. Для цього підприємство керує конкретними ризиками та впроваджує заходи з менеджменту ризиків, які стають складовою системи менеджменту якості підприємства в цілому. Важливим є ідентифікувати ризики, які діють в зварювальному виробництві, і виділити суттєві ризики, навколо яких будується система менеджменту. З цієї метою підприємство має виявити небезпечні впливи, оцінити імовірність їх виникнення, можливі наслідки, які з ними пов'язані. Запропоновано підхід до класифікації ризиків в зварювальному виробництві та надано примірний перелік ризиків при виготовленні зварних конструкцій та проведенні технічної діагностики і неруйнівного контролю. Бібліогр. 25, табл. 3, рис. 4.

*Ключові слова:* управління ризиками, менеджмент ризику, виготовлення зварних конструкцій, неруйнівний контроль зварних конструкцій

З метою збереження конкурентоздатності вітчизняного зварювального виробництва базовою вимогою для підприємств, що випускають зварні конструкції, є відповідність систем менеджменту якості міжнародним вимогам. Функціонування системи менеджменту якості згідно стандарту ISO 9001:2015 надає впевненості виробнику і споживачу в стабільності показників якості реалізованої зварної продукції, та в тому, що ці показники не вийдуть за межі обов'язкових вимог, визначених Технічними регламентами, які на цю продукцію поширюються [1, 2].

Впровадження нових стандартів з управління підприємством передбачає розроблення системи управління на підставі ризик-орієнтованого підходу – іншими словами – визначення ризиків і можливостей (як внутрішніх, так і зовнішніх), які необхідно враховувати та визначити щодо них подальшу управлінську діяльність підприємства.

Актуальність проблем прийняття ефективних управлінських рішень щодо функціонування підприємств в умовах підвищеного ризику, який є невід'ємною характеристикою сьогодення ринкових відносин, стрімко зростає. Оцінка рівня конкретних ризиків є складним і відповідальним моментом, оскільки саме від її результатів залежать подальші дії підприємства з планування виробництва. Підприємство управляє ризиками через їх ідентифікацію, аналізування, наступне прийняття рішення чи потрібна обробка ризику щоб задовольнити прийняті критерії [1, 3–5].

Необхідно зазначити, що кожна організація управляє ризиками до визначеного ступеню. Система менеджменту, при якій підприємство інте-

грує процес управління ризиком з керівництвом, стратегією, плануванням, управлінням, процесами звітності, політикою, цінністю та культурою, є менеджментом ризику. Тому, щоб розрізнити ці поняття, до управління конкретним ризиком застосовують термін «керування ризиком» (або в деякій літературі залишається «управління ризиком»), а при впровадженні в організації системного підходу до ризиків – «менеджмент ризику» [3].

Підставою для раціональних управлінських рішень є наявність максимально повної і достовірної інформації щодо джерел потенційної небезпеки та можливих наслідків її реалізації (рис. 1). Особливу увагу при цьому приділяють процесу ідентифікації ризиків [3].

Ідентифікація ризиків є першим етапом оцінювання ризику як при керуванні ризиками, так і менеджменту ризиків в організації в цілому (рис. 2).

Ідентифікація ризиків розглядається як дослідження, виявлення, опис, документування та групове обговорення ризиків до того, як вони стали проблемами та несприятливим чином впливають на діяльність підприємства.

Нормативна документація щодо оцінювання ризику та менеджменту ризику носить загально-методичний характер і не враховує особливості того

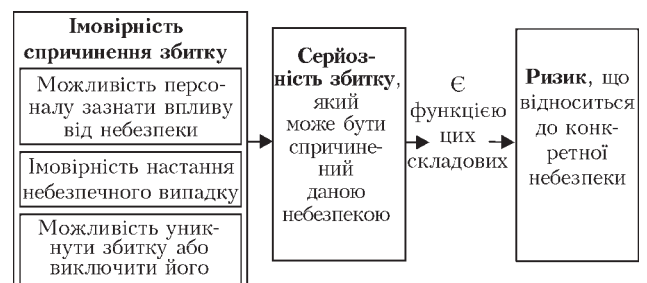


Рис. 1. Елементи ризику

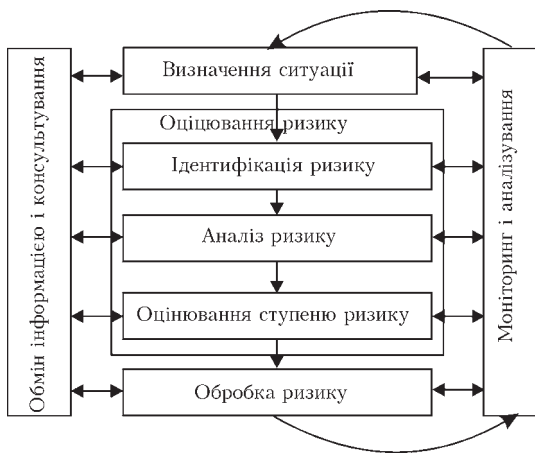


Рис. 2. Процес ризик-менеджменту для підприємства по виробництву зварних конструкцій [4]

чи іншого виробництва, що викликає труднощі для фахівців зварювальних підприємств при розробці процедур управління ризиками, які визначають заходи з планування, реагування, зменшення ризиків або виявлення можливостей, що в ризиках містяться, з метою удосконалення виробництва (вимога розділу 6 стандарту ISO 9001:2015) [6, 7].

Менеджмент ризику при виробництві і експлуатації зварної конструкції взаємопов'язаний з іншими сучасними інтегрованими системами менеджменту: якістю, промисловою безпекою та гігієною праці, довкіллям, енергоефективністю виробництва, соціальною відповідальністю. Як складова інтегрованих систем менеджменту, менеджмент ризику і структура основних груп ризиків можуть бути представлені таким чином (табл. 1).

Загальний алгоритм оцінювання ризику включає такі етапи:

1. Визначення вихідних даних для аналізу ризику, що включає:
  - а) вибір і ідентифікацію об'єкту оцінки ризику;
  - б) ідентифікацію небезпек, які пов'язані з цим об'єктом;
  - в) встановлення джерел інформації для збору даних.
2. Збір вхідних даних.
3. Статистична обробка даних, перевірка на адекватність і виключення помилкових даних.
4. Визначення частоти виникнення невідповідностей (дефектів).
5. Визначення величини наслідків, пов'язаних з даними невідповідностями.
6. Кількісна оцінка ризику з врахуванням результатів НК і ТД.
7. Оцінювання ризику по відношенню до прийнятих критеріїв ризику.
8. Визначення невизначеності результатів оцінювання ризику.

Тому, щоб запровадити на підприємстві процедури по оцінюванню ризиків, необхідно визначити, якими ж ризиками потрібно управляти і які ризики є

суттєвими для даного підприємства – скласти реєстр ризиків, до яких необхідно застосовувати керування за умови використання НК і ТД.

З цією метою необхідно виділити основні фактори і пов'язані з ними небезпеки, які впливають на зварювальне виробництво, а ефективно проведена їх класифікація повинна не тільки перераховувати більшу кількість факторів, але й створити визначену систему, яка б враховувала їх всі. Зміст даної процедури поділяють на два основних етапи.

Перший етап: необхідно визначити ризики зовнішні, рівень яких не залежить від особливостей функціонування підприємства, проте вони часто є визначальними при створенні контексту підприємства, визначенні його місця на ринку і цілей управління. Ці ризики не можуть бути повністю усунені, але їх необхідно враховувати при плануванні виробництва і реагувати на них з метою мінімізації.

Виходячи з вище зазначеного, доцільно звести зовнішні фактори до класифікаційної системи і поділяти в залежності від характеру на: політичні, інформаційні, соціальні, природні, економічні, управлінські, науково-технічні, інші [8].

Так, наприклад, на діяльність підприємства суттєво впливають такі зовнішні ризики, як: близькість військових дій; втрата традиційних споживачів продукції; втрата традиційних постачальників сировини; психологічний тиск на працюючих від нестабільної політичної ситуації (політичні); відмінності в технічних вимогах потенційних країн покупців, країн постачальників; випереджаючий науково-технічний прогрес (науково-технічні); неконкурентна заробітна плата або низький рівень купівельної спроможності робітників, соціальна незахищеність (соціальні); відсутність інформації щодо тенденцій ринку, змін в НД; відсутність або обмеженість інформації щодо нормативних документів та законодавчих вимог до продукції закордонних партнерів; висока вартість іноземних стандартів, шпіонаж, кібератаки (інформаційні); інфляція, зміна податкової політики, підвищення вартості праці, сировини, комплектуючих протягом терміну виконання контракту (економічні); невчасне виконання контрактів через зміни в зовнішньому управлінні, відмінності в управлінні країн постачальників та покупців (управлінські, економічні), сприйняття та цінності зацікавлених сторін (культурні, соціальні), тощо.

Другий етап: необхідно визначити перелік внутрішніх ризиків, зниження яких залежить безпосередньо від підприємства, вплив яких можна ослабити або частково ліквідувати (обробити ризик) за рахунок змін або підвищення ефективності менеджменту. Величина цих ризиків залежить від організаційної структури, професійного рівня працівників, системи управління і контролю.



Таблиця 1. Взаємозв'язок системи менеджменту ризиками з іншими інтегрованими системами менеджменту при виробництві зварних конструкцій з використанням НК і ТД

Поняття	Системи менеджменту				
	Якість (система стандартів ISO 9000)	Гігієна праці і промислова безпека (система стандартів OHSAS 18000)	Охорона навколиш- нього середовища (система стандартів ISO 14000)	Енергоефектив- ність (система стандартів ISO 50000)	Соціальна відповідальність (SA 8002, ISO 26000)
	Стандарт, що визначає вимоги до системи менеджменту				
Поняття	ДСТУ ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015, IDT) «Системи управлін- ня якістю. Вимоги»	ДСТУ OHSAS 18001:2010 (OHSAS 18001:2007, IDT) «Системи управ- ління гігієною та безпекою праці. Вимоги»	ДСТУ ISO 14001:2015 (ISO 14001:2015, IDT) «Системи екологіч- ного управління. Вимоги та настанови щодо застосування»	ДСТУ ISO 50001:2014 ISO (50001:2011, IDT) «Енергозбере- ження. Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанова щодо використання»	SA 8002 «Соціальна відповідаль- ність», ISO 26000 «Керівництво з менеджменту соціальної від- повідальності»
Ризики	Порушення процесів системи управлін- ня. Невиконання обов'язкових законодавчих вимог щодо якості продук- ції згідно Техніч- ного регламенту. Невиконання вимог споживача (неза- довільна експлуата- ція продукції)	Виникнення не- щасних випадків, травматизму та профзахворювань	Виникнення надзвичай- них ситуацій, аварії	Перевищення досягнутого рівня лінії енер- гоефективності та базових рівнів енергоспожи- вання	Відсутність знань і усвідом- лення небезпек пов'язаних з ризиками на виробництві. Порушення норм відповідальності між підприєм- ством і праців- ником
Наслідки	Відповідальність за шкоду, завдану внаслідок дефекту продукції. Фінансові втрати на ремонт та задоволення рекламацій. Неза- доволення та втрата споживача, змен- шення збуту	Судові розслідуван- ня нещасних випад- ків, травматизму та профзахворювання, фінансові збитки при компенсаціях	Судові розсліду- вання наслідків аварії, громадянська відповідальність за збитки. Фінансові витрати на відновлен- ня навколиш-нього середовища	Невиконання законодавства щодо енерго- ефективності. Збільшення собівартості про- дукції і, в зв'язку з цим, зменшення конкурентоспро- можності на ринку	Взаємна втрата соціальної довіри праців- ників і робото- давців. Втрата довіри суспіль- ства до виробни- ка. Порушення безперервності бізнесу і, в зв'яз- ку з цим, втрата замовників

*Примітка.* На даний час прийняті та діють в Україні стандарти систем управління «структури високого рівня» [1] версії 2015 року: ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 14001:2015. Інші стандарти системи менеджменту знаходяться на стадії розроблення переходу на нову версію.

Визначено, що ризики в зварювальному виробництві пов'язані з випуском невідповідної продукції, невідповідними процесами виробництва, процесами управління зварюванням: підготовка персоналу, координація зварювальними роботами, впливами на навколишнє середовище, індивідуальним ризиком персоналу, недостовірними процесами вимірювання. Також до ризиків відноситься невчасне виконання контрактів, що впливає на фінансову стабільність підприємства.

Ціллю ідентифікації ризику є складання переліку джерел ризику і подій, які можуть впливати на досягнення кожної з цілей підприємства [5], або зробити виконання їх неможливими.

Ризики зовнішні і внутрішні, притаманні зварювальному виробництву, схематично представлені на рис. 3 та приведені в переліках.

Ризики можуть відноситись до всіх рівнів управління діяльністю підприємства:

– інституціональний рівень – рівень вищого керівництва – ефективно стратегічне планування і формування стратегічних цілей діяльності підприємства;

– управлінський рівень – планування процесів системи менеджменту та каскадованих цілей, які визначають діяльність кожного підрозділу;

– технічний рівень – рівень виконання проекту, контракту з виготовлення конструкції, надання послуг зі зварювання, рівень продукції.

Стандарти системи менеджменту якості ISO 9001:2015 розглядають ризики як ймовірнісні відхилення кожного з процесів «процесного підходу», який описує повну діяльність підприємства з управління, постачання, виробництва, моніторингу і вимірювань (контролю). Тому рекомендується визначати ризики, які притаманні кожному з процесів. Це дає змогу визначити і «власника процесів» – особу або організаційну одиницю підпри-

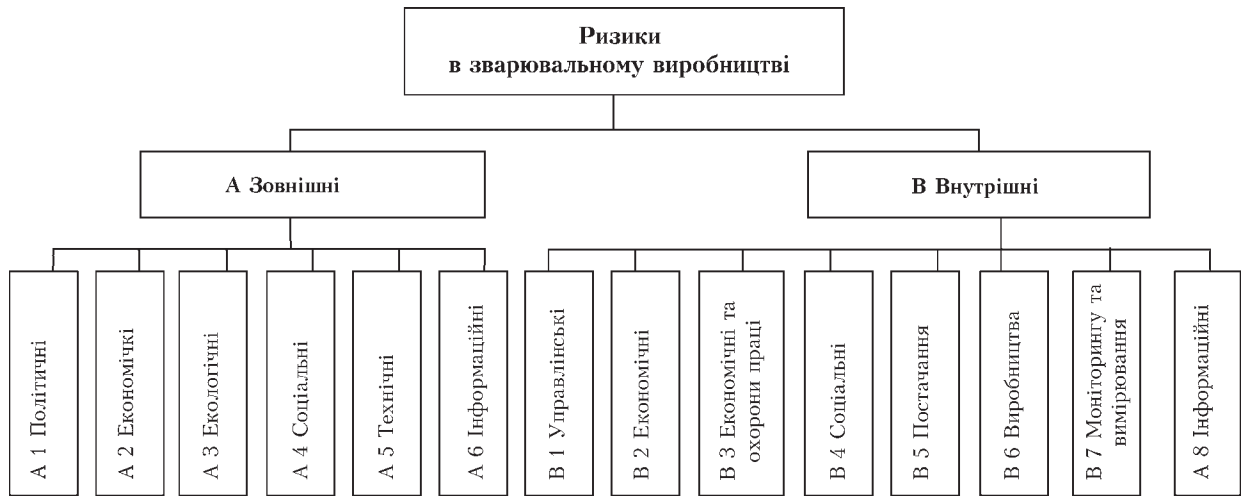


Рис. 3. Класифікація ризиків в зварювальному виробництві

ємства, яка відповідає за процес, так і «власників ризику» – тих же відповідальних за процес, з якими пов’язаний ризик, або за процеси, що передують даному процесу і визначають причинно-наслідкові зв’язки при виникненні ризику.

Чим більше ризик, тим більше ступінь технічного регулювання, пов’язаного з цим процесом.

Після того, як ризики ідентифіковано, підприємство має визначити засоби контролювання, зокрема стосовно конструктивних особливостей зварної конструкції, персоналу, процесів і систем.

Як вказувалось в роботах [6, 7], контроль щодо ризику має двоїсту властивість – з однієї сторони

є засобом виявлення ризику, з іншої сам містить невизначеності. Тому ризики системи контролювання розглядаються аналогічно як відхилення процесів системи якості вимірювань, визначених стандартом ДСТУ ISO/IEC 17025:2016.

Процес ідентифікації ризику охоплює визначення причин і джерел ризику, які можуть впливати на досягнення цілей, пов’язаних з якістю зварної конструкції, а також визначати характер цього впливу.

Так, при проектуванні зварної конструкції згідно вимог EN 1090-2 [9] попередньо необхідно визначити клас виконання конструкції. Під класом виконання розуміють систематизований набір ви-

**Перелік зовнішніх ризиків в зварювальному виробництві**

<b>А 1 Політичні</b>
А 1.1. Втрати від військових дій
А 1.2 Втрата традиційних постачальників сировини
А 1.3 Втрата традиційних ринків збуту
А 1.4 Психоемоційний тиск на населення від нестабільної політичної ситуації
<b>А 2 Економічні</b>
А 2.1 Конкуренція на ринку
А 2.2 Злиття та поглинання
А 2.3 Фінансові зобов’язання перед клієнтами
А 2.4 Фінансові зобов’язання перед постачальниками
А 2.5 Кризи, інфляція
<b>А 3 Екологічні</b>
А 3.1 Законодавчі обмеження щодо шкідливих викидів, енергоспоживання
А 3.2 Очікування споживачів щодо екологічності, енергоефективності продукції
А 3.3 Шкідливі зовнішні впливи, катастрофи, інше
<b>А 4 Соціальні</b>
А 4.1 Недотримання норм соціальної відповідальності в суспільстві
А 4.2 Обмеженість соціального страхування
А 4.3 Зростання добробуту, що спричиняє підвищені очікування споживачів щодо безпеки, якості, функціональності, ергономічності продукції
А 4.3. Недостатня кількість кваліфікованого персоналу на ринку праці
А 4.4. Несприятлива демографічна ситуація
А 4.5 Тероризм
<b>А 5 Технічні</b>
А 5.1 Обмеження, пов’язані з обов’язковим технічним регулюванням щодо відповідальної продукції та виробництва (вимоги законодавства, Технічних регламентів)
А 5.2 Відмінність між технічним регулюванням країни-виробника та країни-покупця продукції (технічні бар’єри)
А 5.3 Випереджаючі наукові розробки щодо продукції, процесів
А 5.4 Недостатність стандартизації
А 5.5 Неоднозначність технічних вимог
А 5.6 Невиконання вимог споживача щодо технічних показників
<b>А 6 Інформаційні</b>
А 6.1 Обмеженість доступу до інформації та систем
А 6.2 Відсутність або висока вартість стандартів
А 6.3 Промисловий шпіонаж, кібератаки

## Перелік внутрішніх ризиків в зварювальному виробництві

<b>В 1 Управлінські</b>
V 1.1 Не визначені, або невідповідні політика та цілі організації (в тому числі в сфері якості продукції, безпеки праці)
V 1.2 Недоліки в процесному підході та встановленні відповідальності за процеси, не визначені цілі кожного з процесів
V 1.3 Невідповідності в аналізованні керівництва (обсяг питань програми аналізування не охоплюють всі елементи системи менеджменту протягом встановленого періоду, порушення періодичності, контролю за виконанням, контролю за коригувальними діями)
V 1.4 Недоліки в системі управління персоналом: визначення потреби, підбору кваліфікації, підготовки кадрів, атестації
V 1.5 Неналежна координація, керівництво зварювальними роботами
V 1.6 Недоліки в системі коригувальних дій (наприклад, відсутність системи ранжування невідповідностей, в аналізованні причин критичних невідповідностей, відсутність аналізування достатності коригувальних дій)
<b>В 2 Економічні</b>
V 2.1 Невірне встановлення економічних цілей
V 2.2 Недоліки в економічному обґрунтуванні, супроводженні інвестицій та проектів
V 2.3 Невчасне виконання проектів через взаєморозрахунки, загроза санкцій
<b>В 3 Екологічні та охорона праці</b>
V 3.1 Шкідливі впливи на навколишнє середовище від виробництва, аварії
V 3.2 Недотримання вимог утилізації
V 3.3 Індивідуальні ризики працюючих
<b>В 4 Соціальні</b>
V 4.1 Недотримання норм соціальної відповідальності роботодавця перед працівником, відсутність системи мотивування
V 4.2 Недотримання норм соціальної відповідальності працівника перед підприємством, порушення корпоративної культури
V 4.3 Незнання робітників про ризики
<b>В 5 Постачання</b>
V 5.1 Відсутність в контрактах на поставку вказівок про відповідність показників якості сировини НД або технічному завданню
V 5.2 Відсутність в контрактах вимог, що регулюють відповідальність за неякісне постачання, можливість повернення та заміни неякісної сировини, витрати на оплату контрольних випробувань
V 5.3 Невчасне постачання
V 5.4 Постачання неякісної сировини
V 5.5 Неправильне зберігання, транспортування сировини під час постачання (ДСТУ ISO 28000)
<b>В 6 Виробничі</b>
V 6.1 Ризики проектування та розроблення, підготовки виробництва
V 6.1.1 Нечіткість вимог в технічному завданні
V 6.1.2 Невірна ідентифікація конструкції за категоріями виготовлення PC1, PC2; та експлуатації SC1, SC2, і як наслідок – вимог до класів виготовлення EXC1-EXC4 (EN 1090-2) та вимог до системи якості виконання зварювання згідно ISO3834-2 – ISO3834-4
V 6.1.3 Відсутність контролю, аналізування та затвердження етапів проекту (ДСТУ 3973, ISO 10006)
V 6.1.4 Невиконання окремих етапів проекту (наприклад, випробування дослідного зразка, технології зварювання: частини стандарту ISO15614, ISO 14555, ISO15620)
V 6.1.5 Недоліки або відсутність плану зварювання (EN 1090-2, п.7.2)
V 6.1.6 Недоліки розроблених технологій зі зварювання WPS (для розроблення рекомендується керуватись стандартами: ISO/TR 17671, част. 1–7) або відсутність WPS (ISO15609, ISO 14555, ISO15620), інструкції з термооброблення (за необхідності)
V 6.1.7 Недоліки або відсутність атестації технологій WPS (частини стандарту ISO 15614, ДСТУ 3951.3 (ISO 9956.3), ISO 14555, ISO15620)
V 6.1.8 Недостатні технологічні характеристики зварювального обладнання (нездатність виконувати режими за WPS, відсутність плавного автоматизованого регулювання початку шва, зварювання кратера), оснащення. Відсутність калібрування, EN ISO 17662
V 6.1.9 Використання металу низької зварності (ISO 15608, ISO/TR 581)
V 6.1.10 Недоліки в системі підготовки персоналу підприємства, організації атестації кадрів
V 6.2 Ризики виробництва (зварювально-складальних робіт)
V 6.2.1 Неочищення крайок перед зварюванням
V 6.2.2 Неправильне збирання деталей та вузлів (EN ISO 9692, част. 1–4)
V 6.2.3 Невідповідне готування та зберігання зварювальних матеріалів
V 6.2.4 Невиконання попереднього підігріву або просушування деталей перед зварюванням (за необхідності)
V 6.2.5 Недотримання технології зварювання: порядку та техніки накладання швів, режимів зварювання, температури між проходами
V 6.2.6 Невідповідна кваліфікація зварників (ISO 14732, частини стандарту ISO 9606)
V 6.2.7 Відсутність належної координації або керівництва зварювальними роботами (ISO 14731)
V 6.2.8 Невідповідне обладнання для даного технологічного процесу, відмови обладнання. Експлуатаційні ризики від обладнання
V 6.2.9 Неповне зачищення від шлаку, недоліки в захисті та очищенні від бризок
V 6.2.10 Неналежне виконання термооброблення (ISO 17663)
V 6.2.11 Неналежні записи про зварювання (ведення журналу зварювальних робіт, ремонтної документації) та ідентифікація зварних з'єднань (клеймування).
V. 6.1.11 Психоемоційний стан працюючих
V. 6.1.12 Недотримання умов виробничого середовища
<b>В 7 Моніторинг та вимірювання</b>
V 7.2 Випробування та контроль
V 7.1.1 Відсутність акредитації лабораторії за ISO/IEC 17025 та документованої системи управління якістю вимірюваннями
V 7.1.2 Не валідовані нестандартизовані методики
V 7.1.3 Недостатньо компетентний персонал, недоліки в навчанні, стажуванні, атестації персоналу, відповідальності
V 7.1.4 Недоліки метрологічного забезпечення, засобів вимірювальної техніки (ЗВТ). Не в повному обсязі калібровані засоби вимірювальної техніки (ЗВТ). Недотримання міжкалібрувального інтервалу. Велика невизначеність вимірювань



**Продовження Переліку внутрішніх ризиків в зварювальному виробництві**

В 7.1.5 Невідповідності в управлінні стандартними еталонами
В 7.1.6 Недоліки системи планово попереджувального ремонту обладнання (ППР) Відсутність плану, неналежне виконання ППР
В 7.1.7 Порушення системи забезпечення якості випробувань (виконання дублюючих, повторних, міжлабораторних випробувань) та коригування за аналізуванням результатів
В 7.1.8 Недотримання умов робочого середовища при виконанні вимірювань
В 7.1.9 Неналежне документування, контроль та актуалізація документації
В 7.1.10 Відсутність або невиконання плану контролю зварної конструкції (EN 1090-2)
В 7.1.11 Зменшення обсягу контролю і відповідно збільшення ризику
В 7.2 Аудити
В 7.2.1 Відсутність плану аудитів, недоліки програм аудиту та невиконання аудитів (ISO 19011)
В 7.2.3 Недостатня кваліфікація групи аудиторів
В 7.2.3 Недоліки в системі коригувальних дій за результатами аудитів
В 7.3 Аналізування керівництва (В 1.3)
<b>В 8 Інформаційні</b>
В 8.1 Обмеженість доступу до інформації, обмеженість інтегрованості даних
В 8.2 Несвоєчасна актуалізація
В 8.3 Незбереження інформації, порушення конфіденційності (ISO/IEC 27000)

мог, що встановлюється для виконання споруди в цілому, окремих частин зварної конструкції (компонента) або деталі компонента.

Згідно EN 1090-2 вимоги до класу виконання зварної конструкції залежать від:

класів наслідків (CC1, CC2, CC3), які являють собою шкалу наслідків [10] та ризиків експлуатації зварної конструкції. (категорії використання) і ризиків виготовлення (виробничі категорії), які представляють шкалу ймовірностей.

Вхідні дані процесу аналізування: ризики виготовлення, представлені класами виконання зварної конструкції; враховують застосування груп матеріалів, характеристики пластичності, термооброблення та ін. (PC1, PC2);

Ризики експлуатації (категорії використання) враховують дії на конструкції – втомні впливи, квазістатичні впливи, вітрові навантаження, а також сейсмічність регіонів, тощо (SC1, SC2).

Результуюча матриця ранжування містить вимоги до виконання компоненту зварної конструкції EXC (execution) від EXC1 до EXC4. Матриця наслідків/ймовірностей виготовлення зварних конструкцій представлена в табл. 2.

Класи виготовлення (EXC), в свою чергу, встановлюють вимоги до якості зварних з'єднань згідно ISO 5817 (рівень якості від В до D), що також може визначати ранжування показників в матриці для окремих компонентів зварних конструкцій.

При технічній підготовці виробництва за EN 1090-2 встановлюють відповідність між класами виконання і застосування вимог до забезпечення якості зварювальних робіт, які визначені частинами стандартів ISO 3834 [9, 11–17]. Чим вище вимоги до виконання компонентів конструкцій, тим вище вимоги до регулювання процесів систем якості.

Щоб виділити суттєві ризики і зосередитись на їх регулюванні процес ідентифікації включає і

елементи аналізу ризиків. Так, методи ідентифікування ризиків можуть містити:

- доказові методи, наприклад, застосування переліків контрольних питань і критичне аналізування хронологічних даних;

- системні методи групової роботи, коли група експертів систематично ідентифікує ризики за допомогою структурованого набору навідних фраз або запитань (наприклад при аналізуванні даних аудитів згідно ДСТУ ISO 19011; даних контролю виробництва);

- методи індуктивного мислення, наприклад, HAZOP (Hazard Operability Analysis – аналізування небезпечних чинників і працездатності). Цей підхід застосовується при аналізуванні небезпек, які враховують при проектуванні зварювального обладнання (ДСТУ EN ISO 12100:2016 (EN ISO 12100:2010, IDT; ISO 12100:2010, IDT) [18].

Щоб поліпшити точність і повноту ідентифікації використовують також різноманітні допоміжні методи, зокрема «мозкову атаку» (групове обговорення з застосуванням спеціальних прийомів, при якому творче мислення одних учасників активізується за допомогою ідей інших) і метод Делфі (досягнення консенсусу думок експертів).

При визначенні «суттєвості ризику» для включення в контрольний перелік з метою подальшого керування та менеджменту слід враховувати ряд особливостей ризиків в зварювальному виробництві, які можуть мати відмінності і збільшувати або зменшувати «критичність» ризику:

- в залежності від джерела виникнення;
- в залежності від специфіки того, чи іншого зварювального виробництва (наприклад дугове зварювання, контактне зварювання, електронно-променево; габарити виробів; посилені вимоги до робочої зони при зварюванні в приладобудуванні, медицині та ін.);

**Таблиця 2. Матриця наслідків/ймовірностей виготовлення зварних конструкцій**

Класи наслідків		CC1		CC2		CC3	
		SC1	SC2	SC1	SC2	SC1	SC2
Категорії використання	PC1	EXC1	EXC2	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3
	PC2	EXC2	EXC2	EXC2	EXC2	EXC3	EXC4

- в залежності від місця виявлення (наприклад, відмови в важкодоступному для ремонту місці);
- по характеру причин, що викликають ризики (наприклад, персоніфіковані роботи з контролю та зварювання; якість комплектуючих матеріалів, що закуповуються);
- в залежності від об'єкта впливу (виробництво, персонал, навколишнє середовище, інше);
- по регулярності – ймовірності виникнення відхилень показників (часті, які співвідносяться з необхідністю регулювання процесу – ДСТУ ISO 11462:2006 [ 19]; середні – «сіра зона» яка викликає необхідність прийняття рішення про необхідність керування; нечасті, але пов'язані зі значними наслідками, наприклад, зварювання об'єкту підвищеної небезпеки; нечасті, напряду не пов'язані з об'єктами підвищеної небезпеки);
- по ступеню передбачуваності (прогнозовані, щодо яких можна будувати регресійні моделі; стохастичні, інші);
- по інтенсивності виявлених впливів;
- по ступеню контролю (наприклад, наявність «спеціальних процесів» лиття, зварювання, термооброблення, якість яких необхідно забезпечувати на операційному рівні з контролем усіх вхідних чинників процесу [20]);
- по можливості страхування (страхування діяльності, проектів, персоналу, тощо, що здатне зменшити наслідок впливів для підприємства та персоналу небезпечних подій).

При ідентифікуванні конкретних небезпечних впливів від обладнання рекомендовано керуватись міжнародними стандартами з безпеки. В цьому контексті поняття «безпека машин» включає в себе здатність машин виконувати свою функцію протягом всього строку служби при адекватному (достатньому) зниженні ризику. Система міжнародних стандартів з безпеки обладнання має наступну структуру:

- стандарти типу А – основні стандарти по безпеці, що встановлюють основні поняття, принципи конструювання і загальні положення, які можуть бути застосовані до всього обладнання;
- стандарти типу В – загальні стандарти по безпеці, що розглядають споріднені аспекти безпеки або один тип захисного пристрою, яке має використовуватись для широкого класу обладнання;
- стандарти типу В1 – стандарти по конкретним аспектам безпеки (наприклад, по безпечній відстані, по рівню шуму, безпечній температурі поверхні);
- стандарти типу С – стандарти по безпеці обладнання, що розглядають деталізовані вимоги до безпеки окремих машин, або групи машин.

Так стандарт ДСТУ EN ISO 12100:2014 «Безпека машин. Загальні принципи розрахунку. Оцінювання ризиків і зниження ризиків» [18] є стандартом типу А. Питання, що розглядаються в розділах або під-

розділах цього стандарту більш детально розглядаються також в інших стандартах типу А або В.

Якщо положення стандарту типу С відрізняються від основного або декількох положень стандартів типу А, або стандарту типу В, то пріоритет належить стандарту типу С.

Визначити значимість кожного фактора, що впливає на ризик виготовлення невідповідної зварної конструкції, можливо шляхом експертного аналізування. В цьому випадку реєструються думки компетентних експертів (методи Делфі, структурного опитування, аналізу причин і наслідків, причинно-наслідкових зв'язків [5]).

Визначити фактори ризику можливо також шляхом кількісного аналізу. З цією метою необхідно впровадити систему моніторингу та контролю на підприємстві і визначити вплив фактору ризику.

Група аудиторів та експертів ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України обстежила ряд зварювальних підприємств України, що випускають чи здійснюють ремонт відповідальних зварних конструкцій. Методологія аудиту відповідала вимогам ДСТУ 3957 с врахуванням положень ISO 9001. Вимоги до показників процесів враховували стандарти підприємства, стандарти ДСТУ ISO 3834, ДСТУ 3951.3 (ISO 9956.3), ДСТУ ISO 14731, ДСТУ ISO 15614, технічні вимоги на виготовлення та експлуатацію (в частині ремонту) конкретних типів конструкції [6, 7].

Були оцінені елементи системи якості підприємств на відповідність нормативним вимогам згідно з положеннями ISO 9001 з врахуванням вимог стандартів [11–17]. Серед них: № 1 – підприємство, яке випускає будівельні металоконструкції; № 2 – підприємство, що випускає обладнання з енергетики; № 3 – ремонтний підрозділ ТЕЦ; № 4 – підприємство, яке здійснює монтаж мостових будівельних конструкцій; № 5 – ремонтний підрозділ хімічного комбінату; № 6 – ремонтний завод збагачувального комбінату; № 7 – ремонтний підрозділ хімічного комбінату.

Оцінка рівня відповідності елементу системи якості проводилась як за якісними показниками (відповідає/ не відповідає), так і за кількісними.

З метою управління даними і проведення статистичного аналізу була запропонована кількісна оцінка рівня відповідності за такими рангами:

- а) при повній відповідності вимогам нормативних документів рівень відповідності фактора складає 100 %, або дорівнює 1;
- б) при виявленні однієї критичної невідповідності (яка приводить до систематичних суттєвих порушень) – зниження рівня відповідності на 50 % або на 0,5;
- в) не критичної (середньої) – на 15 % або на 0,15;
- г) незначного зауваження – на 5 %, або на 0,05.

В ході досліджень були відібрані контрольні зварні з'єднання в відповідності з розробленими на підприємствах технологіями дугового зварювання конструкцій. Зразки були доставлені в акредитовану Національним агентством з акредитації України випробувальну лабораторію Інституту електрозварювання ім. С. О. Патона НАН України. В відповідності з розробленими конкретними програмами випробувань (з врахуванням ТУ на продукцію) був проведений неруйнівних та руйнівний контроль зварних з'єднань [6, 7].

По кожному підприємству було розраховано відношення кількості отриманих невідповідних (бракованих) з'єднань до загальної кількості проконтрольованих зразків підприємства, іншими словами величину ймовірності виникнення дефекту продукції (рис. 4).

Значущість фактора визначалась по коефіцієнту кореляції функції зміни фактора і результуючої функції зміни кількості придатних з'єднань в партії.

Встановлені фактори системи якості, які впливають на якість виготовлення зварної продукції на підставі коефіцієнтів кореляції: управління документацією 0,91; стан технологічних процесів 0,96; контроль та випробування 0,97; виробниче обладнання 0,93; підготовка персоналу 0,92; стан коригувальних дій 0,98; управління навколишнім виробничим середовищем 0,71.

Фактори, коефіцієнт кореляції яких наближається до одиниці, слід класифікувати як значимі. Слід зазначити, що при обстеженні підприємств вимоги до навколишнього середовища при виконанні зварювальних робіт в основному відповідали нормативним документам, тому що зварювання контрольних з'єднань проводилось у виробничому приміщенні. Вплив фактора «навколишнє середовище», що за розрахунками кваліфікувався як «сіра зона» при проведенні дослідження, не візуалізувався в повній мірі. Тому, на думку

експертів, цей фактор також необхідно віднести до тих, які впливають на ризик утворення дефектів при виробництві зварної конструкції.

Процес управління ризиками – це систематичне застосування політики менеджменту, процедур і практик по відношенню до комунікацій, консалтингу, встановлення контексту підприємства, а також ідентифікація, аналіз, оцінка, моніторинг та постійний аналіз ризиків на виробництві, що дозволяє знизити ймовірність виникнення інцидентів і аварій.

До суттєвих ризиків на виробництві відносяться індивідуальні ризики. Той факт, що шкідливі дії впливають безпосередньо на людину підвищує «суттєвість» цих ризиків і вимагає приділяти особливу увагу їх управлінню.

Небезпечні виробничі впливи на персонал, що викликають ризик захворювань, втрату працездатності, представлені в табл. 3. Там же вказано можливі методи обробки з метою зменшення ризиків, а також міжнародні та державні стандарти, яким повинні відповідати вимоги до оснащення або організації робіт.

З метою мінімізації індивідуальних ризиків обов'язковим є дотримання вимог Технічних регламентів і стандартів в області безпеки. Безпека при виконанні процесів дугового і електрошлакового зварювання повинна відповідати вимогам ДСТУ 2456-94, контактного зварювання – ДСТУ 2489-94 [21, 22]. Безпека праці в області зварювальних робіт – НПАОП 28.52-1.31-13 Правила охорони праці під час зварювання металів [23].

Дані щодо шкідливих дій впливів при зварюванні, виконанні НК і ТД та заходів обробки викладені в роботі [24].

Управління виробничими ризиками є ключовою складовою соціальної відповідальності виробника перед суспільством і службовцями підприємства.

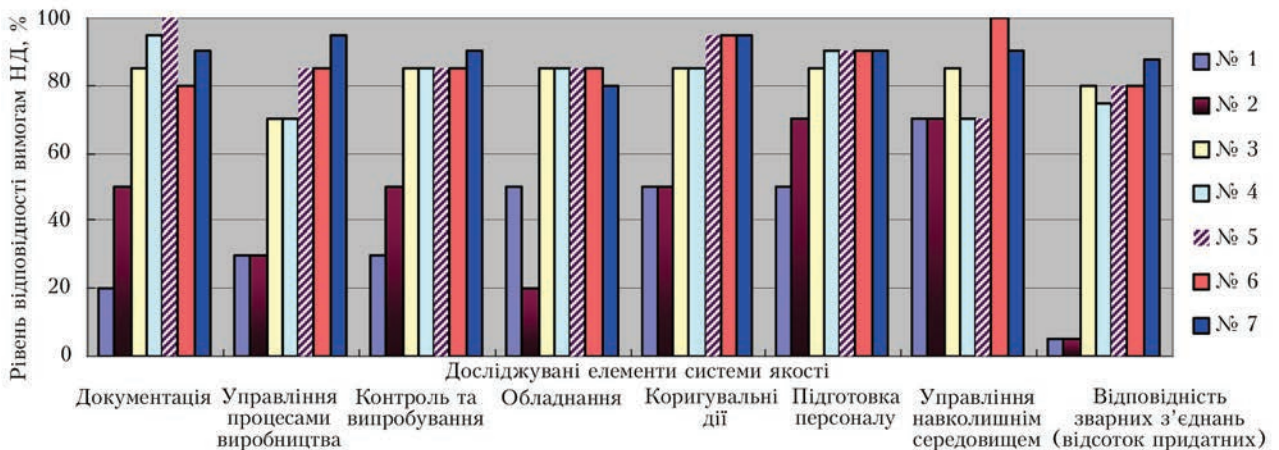


Рис. 4. Результати обстеження виробництва підприємств, що випускають зварні конструкції, на відповідність елементів системи якості вимогам нормативних документів та результати випробувань контрольних зварних з'єднань. Відсоток придатних з'єднань  $N$  до загальної кількості зварних з'єднань в партії  $n$   $P = (N/n)100\%$  є зворотною величиною ймовірності браку і співвідноситься з ризиком виробника  $R = (100\% - P)/100\%$



Таблиця 3. Індивідуальні ризики персоналу при виконанні зварювання, НК і ТД

Номер з/п	Небезпечні впливи, які спричиняють ризики	Методи обробки ризиків
1	Зварювальні аерозолі і загазованість робочої зони	– контроль роботи витяжної вентиляції (ДСТУ EN ISO 15012); – застосування засобів індивідуального захисту; – періодичний контроль повітря робочої зони (серія ДСТУ ISO 15011); – оцінювання ризику згідно ДСТУ EN 626
2	Випромінювання від дуги	– екранування (ДСТУ EN 12198-1); – застосування засобів індивідуального захисту (ДСТУ EN 12477, ДСТУ EN ISO 11611), зварювальних масок (ДСТУ EN 169, ДСТУ EN 175, ДСТУ EN 207, ДСТУ EN 379 та ін.); – зменшення ризику згідно ДСТУ EN 12198
3	Промєневе, лазерне випромінювання (при застосуванні промєневого, лазерного зварювання)	– справність і періодична перевірка зварювального устаткування (серія стандартів ДСТУ EN ISO 11553, ДСТУ 3014); – застосування індивідуальних заходів захисту (ДСТУ EN 207, ДСТУ EN 208), екранів
	Ураження електричним струмом	– відповідність обладнання технічному регламенту низьковольтного електричного обладнання; – дотримання стандартів серії ДСТУ EN ISO 60974; правил улаштування електроустановок; – застосування затверджених типів електродотримачів (ДСТУ EN ISO 60974-11); – справність і періодична перевірка зварювального обладнання: опору заземлення, опору ізоляції; – використання індивідуальних засобів захисту; – належна організація робочих місць
4	Підвищена температура поверхні в зоні зварювання	– справність і періодична перевірка зварювального обладнання; – застосування екранів, засобів індивідуального захисту (ДСТУ EN ISO 20349:2015); – дотримання індивідуальних заходів безпеки
5	Магнітне поле	– виконання вимог Технічного регламенту з електромагнітної сумісності обладнання, стандартів ДСТУ EN ISO 60974-10, ДСТУ EN ISO 62135-2, ДСТУ EN 50240 та ін.); – справність і періодична перевірка зварювального устаткування; – застосування екранів, дотримання індивідуальних заходів безпеки
6.	Шум та вібрація	відповідність обладнання стандартам: серія ДСТУ EN 60794, ДСТУ EN ISO 3744, ДСТУ EN ISO 3745, ДСТУ EN ISO 3746, ДСТУ EN ISO 27574-1 – відповідне оснащення та розміщення робочого місця; – застосування індивідуальних заходів безпеки
7	Радіозавади	– відповідність обладнання, що постачається вимогам ДСТУ EN 60794 та санітарним нормам (норми 8-95); – застосування індивідуальних засобів захисту; – належна організація робочих місць
8	Небезпеки при використанні балонів зі стисненим газом	– управління балонним господарством відповідно до вимог «Правил будови і безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском», відповідність Технічному регламенту простих посудин високого тиску; – використання індивідуальних засобів захисту; – належна організація робочих місць; – навчання персоналу в спеціалізованих навчальних центрах
	Небезпеки від рухомих частин	– дотримання вимог Технічного регламенту безпеки машин та устаткування; – відповідна організація робочих місць; – дотримання правил роботи підйомно-транспортних пристроїв НПАОП 0.00-1.01-07 і навчання персоналу; – оцінка ризиків згідно ДСТУ ISO 14798:2010
9	Несвоєчасні зупинки обладнання	– вхідний контроль якості обладнання; оцінка постачальника обладнання; – організація робіт по перевірці обладнання, виконання планових ремонтів; – переснащення зварювальних постів новим обладнанням

Усвідомлення керівниками підприємства своєї соціальної відповідальності полягає в тому, що вони розуміють, як його діяльність впливає на людей і навколишнє середовище, а також розуміють очікування суспільства щодо соціально відповідальної поведінки.

Соціальна відповідальність базується на поєднанні правових норм і виконанні юридично обумовлених зобов'язань [25]. Згідно стандарту ISO 26000 організація повинна прагнути до розуміння і до контролю над ризиками, пов'язаними з охороною праці. Організація повинна впроваджувати необхідні процедури і надавати безпечне обладнання, необхідне для запобігання професійних захворювань і нещасних випадків, а також дій в аварійних ситуаціях. Організація повинна надавати для працюючих повну і достовірну інформацію про ризики, пов'язані зі здоров'ям і безпекою, а також про контроль і запобігання цих ризиків; повинна визнавати, що психологічні ризики на робочих місцях є причинами стресів і погіршення стану здоров'я.

Організація повинна надавати для працюючих повну і достовірну інформацію про ризики, пов'язані зі здоров'ям і безпекою, а також про контроль і запобігання цих ризиків; повинна визнавати, що психологічні ризики на робочих місцях є причинами стресів і погіршення стану здоров'я.

Соціальна відповідальність вимагає також визнання зобов'язань по відношенню і до інших зацікавлених сторін, при цьому ці зобов'язання не є юридично обов'язковими. Ці зобов'язання впливають із загальних цінностей, переконань, етики, очікування суспільства, що враховують універсальні цінності, відображені в міжнародних конвенціях, таких як «Загальна декларація прав людини».

На підставі даних досліджень можна сформулювати наступні висновки.

1. Для отримання замовлень, проходження сертифікацій базовою вимогою для підприємств зварювального виробництва є відповідність їх системи управління якістю вимогам стандартів «високого рівня», таким як ISO 9001:2015. Складовою частиною і філософією цих стандартів є підхід до діяльності по управлінню з позицій ризик-орієнтованого мислення, впровадження управління ризиками та менеджменту ризику.

2. З метою управління ризиками і менеджменту ризику на зварювальному підприємстві необхідно ідентифікувати суттєві ризики, які значно впливають на цілі підприємства в галузі якості, безпеки праці. Запропоновано класифікаційну систему і виділено ризики, які охоплюють різні аспекти діяльності підприємства, і які на підставі досліджень і думок компетентних експертів зварювального виробництва можуть бути віднесені до суттєвих.

3. Описано підхід до оцінювання факторів ризику через експертне оцінювання і кількісне – на підставі визначення коефіцієнтів кореляції зміни факторів по відношенню до результуючої функції зміни ризику.

4. Відзначено, що системний підхід до ризику можливий при впровадженні ризик-менеджменту, який охоплює всі рівні управління і є складовою загальної стратегії управління зварювальним виробництвом з метою підвищення бездефектності і надійності конструкцій.

5. Процес управління ризиками – це систематичне застосування політики менеджменту, процедур і практик по відношенню до комунікацій, консалтингу, встановленню контексту, а також ідентифікація, аналіз, оцінювання, моніторинг і постійне аналізування ризику на виробництві, що дозволяє знизити імовірність виникнення аварій.

6. Існуючий стан безпеки виробництва конструкцій залежить від ризик-менеджменту на об'єкті. Необхідно мати набір компонентів, який складається з основ і організаційних заходів для проектування, впровадження, аналізування і постійного удосконалення менеджменту у всій організації.

7. Особливе місце займають індивідуальні ризики, оскільки вони пов'язані з небезпечними впливами і їх наслідками на життя і здоров'я людини. Стан охорони праці і управління індивідуальними ризиками є показником соціальної зрілості підприємства зварювального виробництва.

## Список літератури

- Віткін Л., Лапач С. (2007) Як визначити ступінь небезпеки продукції. *Стандартизація, сертифікація, якість*, 3, 48–54.
- Закон України «Про технічні регламенти і оцінку відповідності» від 15.01.2015 124-VIII.
- ISO Guide 73:2009 *Керування ризиками. Словник термінів*.
- ДСТУ ISO 31000:2014 (ISO 31000:2009, IDT) *Менеджмент ризиків. Принципи та керівні вказівки*.
- ДСТУ ІЕС/ISO 31010:2013 (ІЕС/ISO 31010:2009, IDT) *Керування ризиком. Методи загального оцінювання ризику*.
- Бондаренко Ю. К., Ковальчук О. В. (2017) Оцінка ризику експлуатації зварної конструкції на підставі моніторингу процесів управління якістю і проведення комплексу випробувань. *Технічна діагностика і неруйнівний контроль*, 3, 56–63.
- Бондаренко Ю. К., Ковальчук О. В. (2017) Оцінка ризику експлуатації зварної конструкції на підставі моніторингу процесів управління якістю і проведення комплексу випробувань. *Сварщик*, 3, 28–32.
- Касторская Л. В. (2015) Непрерывное совершенствование деятельности организации. Менеджмент риска и ISO 9001:2015. Что мы умеем и чему еще предстоит научиться. Центр Приоритет, Нижний новгород. <http://mc/misis.ru/seminar/2015/reports/Kastorskaya-2015.pdf>
- EN 1090-2:2008 Конструкции стальные строительные. Изготовление стальных и алюминиевых конструкций. Часть 2. *Технические требования к стальным конструкциям*.
- EN 1090:2002 *Еврокод. Основы проектирования конструкций*.
- ДСТУ ISO 3834-1:2008 Вимоги до якості зварювання плавленням металевих матеріалів. Частина 1. *Критерії для вибору відповідного рівня до якості*.
- ДСТУ ISO 3834-2:2008 ДСТУ ISO 3834:2008 Вимоги до якості зварювання плавленням металевих матеріалів. Частина 2. *Всебічні вимоги до якості*.
- ДСТУ ISO 3834-3:2008 Вимоги до якості зварювання плавленням металевих матеріалів. Частина 3. *Типові вимоги до якості*.
- ДСТУ ISO 3834-4:2008 Вимоги до якості зварювання плавленням металевих матеріалів. Частина 4. *Елементарні вимоги до якості*.
- ДСТУ ISO 3834-5:2008 Вимоги до якості зварювання плавленням металевих матеріалів. Частина 5. *Документи, вимоги яких необхідно виконувати для підтвердження відповідності ISO 3834-2, ISO 3834-3 ISO 3834-4*.
- ДСТУ EN ISO 14554-1:2015 (EN ISO 14554-1:2013, IDT; ISO 14554-1:2013, IDT) Вимоги до якості зварювання. Зварювання опором металевих матеріалів. Частина 1. *Докладні вимоги до якості*.
- ДСТУ EN ISO 14554-2:2015 (EN ISO 14554-1:2013, IDT; ISO 14554-1:2013, IDT) Вимоги до якості зварювання. Зварювання опором металевих матеріалів. Частина 2. *Елементарні вимоги до якості*.
- ДСТУ EN ISO 12100:2014 *Безпечність машин. Загальні принципи розрахунку. Оцінка ризиків і зниження ризиків*.
- ДСТУ ISO 11462:2008 *Статистичний контроль. Керівництво для виконання статистичного контролю*.
- ДСТУ ISO 15614:2015 Частина 1-14 *Технічні умови та атестація технології зварювання металевих матеріалів. Випробування процесів зварювання*.
- ДСТУ 2456-94 *Зварювання дугове і електрошлакове. Вимоги безпеки*.
- ДСТУ 2489-94 (ГОСТ 12.3.047-94) *Система стандартів безпеки праці. Контактне зварювання. Вимоги безпеки*.
- НПАОП 28.52-1.31-13 *Правила охорони праці під час зварювання металів*.
- Левченко О. Г. (2009) *Охорона праці у зварювальному виробництві*. Навчальний посібник. Москва, Основа.
- Постанова КМУ від 10 травня 2018 р. № 342 Київ. *Про затвердження методик розроблення критеріїв, за якими оцінюється ступінь ризику від провадження господарської діяльності та визначається періодичність проведення планових заходів державного нагляду (контролю), а також уніфікованих форм актів, що складаються за результатами проведення планових (позапланових) заходів державного нагляду (контролю)*.

## References

1. Vitkin, L., Lapach, S. (2007) How can we determine the degree of product criticality. *Standartyzatsiya, Sertyfikatsiya, Yakist*, **3**, 48–54 [in Ukrainian].
2. Law of Ukraine «Technical Regulations and Conformity Assessment» of 15.01.2015 124-VIII [in Ukrainian].
3. ISO Guide 73:2009: *Risk Management. Vocabulary of terms* [in Ukrainian].
4. DSTU ISO 31000:2014 (ISO 31000:2009, IDT): *Risk management. Principles and guidelines* [in Ukrainian].
5. DSTU IEC/ISO 31010:2013 (IEC/ISO 31010:2009, IDT): *Risk management. Risk assessment techniques* [in Ukrainian].
6. Bondarenko, Yu.K., Kovalchuk, O.V. (2017) Evaluation of risk of welding structures service using monitoring of processes of the quality control system and testing using NT and TD methods. *Tekh. Diagnost. i Nerazrush. Kontrol*, **3**, 56–63 [in Ukrainian].
7. Bondarenko, Yu.K., Kovalchuk, O.V. (2017) Evaluation of the risk of welded structure operation based on monitoring of the processes of quality management and conducting a complex of testing. *Svarshchik*, **3**, 28–32 [in Ukrainian].
8. Kastorskaya, L.V. (2018) Continuous improvement of organization activities. Risk management and ISO 9001:2015. What we can do and what we still have to learn? <http://mc/misis.ru/seminar/2015/reports/Kastorskaya-2015.pdf>
9. EN 1090-2:2008: Building steel structures. Execution of steel structures and aluminium structures. Pt 2: *Technical requirements for steel structures* [in Russian].
10. EN 1090:2002 *Eurocode: Basis of structural design* [in Russian].
11. DSTU ISO 3834-1:2008: Quality requirements for fusion welding of metallic materials. Pt 1: *Criteria for the selection of the appropriate level of quality requirements* [in Ukrainian].
12. DSTU ISO 3834-2:2008 DSTU ISO 3834:2008: Quality requirements for fusion welding of metallic materials. Pt 2: *Comprehensive quality requirements* [in Ukrainian].
13. DSTU ISO 3834-3:2008: Quality requirements for fusion welding of metallic materials. Pt 3: *Standard quality requirements* [in Ukrainian].
14. DSTU ISO 3834-4:2008: Quality requirements for fusion welding of metallic materials. Pt 4: *Elementary quality requirements* [in Ukrainian].
15. DSTU ISO 3834-5:2008: Quality requirements for fusion welding of metallic materials. Pt 5: *Documents with which it is necessary to conform to claim conformity to the quality requirements of ISO 3834-2, ISO 3834-3 or ISO 3834-4* [in Ukrainian].
16. DSTU EN ISO 14554-1:2015 (EN ISO 14554-1:2013, IDT; ISO 14554-1:2013, IDT): Quality requirements for welding -- Resistance welding of metallic materials. Pt 1: *Comprehensive quality requirements* [in Ukrainian].
17. DSTU EN ISO 14554-2:2015 (EN ISO 14554-1:2013, IDT; ISO 14554-1:2013, IDT) Quality requirements for welding -- Resistance welding of metallic materials. Pt 2: *Elementary quality requirements* [in Ukrainian].
18. DSTU EN ISO 12100:2014: *Safety of machinery - General principles for design. Risk assessment and risk reduction* [in Ukrainian].
19. DSTU ISO 11462:2008: *Statistical process control. Guidelines for implementation of statistical process control* [in Ukrainian].
20. DSTU ISO 15614:2015: Pts 1-14. *Specification and qualification of welding procedures for metallic materials. Welding procedure test* [in Ukrainian].
21. DSTU 2456-94: *Welding arc and electroslag. Safety requirements* [in Ukrainian].
22. DSTU 2489-94 (GOST 12.3.047-94): *Occupational safety standards system. Resistance welding. Safety requirements* [in Ukrainian].
23. NPAOP 28.52-1.31-13: *Safety of welding operations* [in Ukrainian].
24. Levchenko, O.G. (2009) *Occupational safety in welding production*. In: Manual. Moscow, Osnova [in Russian].
25. Decree of Cabinet of Ministers of Ukraine from May 10, 2018, No. 342, Kyiv. *On approving methods for developing criteria for assessing the degree of risk from conducting business activities and determining the frequency of planned state supervision measures (control), as well as unified forms of acts, which are made on the basis of planned (unscheduled) measures of state supervision (control)* [in Ukrainian].

ИДЕНТИФИКАЦИЯ РИСКОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ  
СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ ВНЕДРЕНИЯ  
РИСК-МЕНЕДЖМЕНТА НА ПРЕДПРИЯТИИ

Ю. К. БОНДАРЕНКО, О. В. КОВАЛЬЧУК

ІЭС ім. Е. О. Патона НАН України. 03150, г. Київ, ул.  
Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Определены условия построения системы менеджмента предприятия сварочного производства на основе новых международных требований. Планирование деятельности предприятия и технического регулирования основывается на базе риск-ориентированного подхода. Для этого предприятие управляет конкретными рисками и внедряет мероприятия по менеджменту рисков, которые становятся составной частью системы менеджмента качества предприятия в целом. Важно идентифицировать риски, которые действуют в сварочном производстве, и выделить существенные риски, вокруг которых строится система менеджмента. С этой целью предприятие должно выявить опасные воздействия, оценить вероятность их возникновения, возможные последствия, которые с ними связаны. Предложен подход к классификации рисков в сварочном производстве и представлен примерный перечень рисков при изготовлении сварных конструкций и проведении технической диагностики и неразрушающего контроля. Библиогр. 25, табл. 3, рис. 4.

Ключевые слова: управление рисками, менеджмент риска, изготовление сварных конструкций, неразрушающий контроль сварных конструкций

RISK IDENTIFICATION IN FABRICATION OF WELDED  
STRUCTURES IN ORDER TO INTRODUCE RISK-  
MANAGEMENT AT THE ENTERPRISE

Yu.K.BONDARENKO, O.V. KOVALCHUK

E.O.Paton Electric Welding Institute of NASU, 11 Kazimir  
Malevich str., Kiev-150, 03680,  
E-mail: office@paton.kiev.ua

Conditions for building a management system in welding production enterprise are determined in keeping with international requirements. Planning the enterprise activity and technical regulation are based on risk-oriented approach. For this purpose the enterprise manages certain risks and introduces measures for risk management, which become an integral part of enterprise quality management system as a whole. It is also important to identify the risks, which are present in welding production, and single out the significant risks, around which the management system is built. With this purpose the enterprise has to identify the hazardous effects, assess the probability of their occurrence and possible consequences associated with them. An approach to risk classification in welding production is proposed, and an approximate list of risks in fabrication of welded structures and conducting technical diagnostics and nondestructive testing is given. 25 Ref., 3 Tables, 4 Fig.

Keywords: risk management, welded structure fabrication, hazard indications, nondestructive testing of welded structures

Надійшла до редакції  
13.07.2018



## О ПРИМЕНЕНИИ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ОБУЧЕНИЯ И АТТЕСТАЦИИ СПЕЦИАЛИСТОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ В ЗАО «ТЕХНИЧЕСКИЙ КОМИТЕТ «СПЕЦМОНТАЖ»

Обучение и аттестация специалистов неразрушающего контроля (НК) в ЗАО «Технический Комитет «Спецмонтаж» (ТК ««Спецмонтаж») проводится с начала создания в 1993 г. ООО «Инженерно-испытательный центр», реорганизованного в 1995 г. в ЗАО «Технический Комитет «Спецмонтаж». Приступая к контролю, специалисты НК должны заранее ознакомиться с требованиями, предъявляемыми нормативными документами (НД) к изготовлению (сборке, сварке), контролю и оценке качества конкретных изделий. Аттестационным центром ТК ««Спецмонтаж» составлен Перечень НД, регламентирующих (наряду с другими требованиями) критерии оценки качества металла и сварных соединений машин, механизмов, оборудования повышенной опасности, трубопроводов и металлических конструкций (м/к). Информация о машинах и механизмах, оборудовании повышенной опасности размещена на веб-сайте Государственной службы Украины по вопросам труда («Держпраці») [www.dsp.gov.ua](http://www.dsp.gov.ua). В соответствии с требованиями НПАОП 0.00-163:2013 «Про затвердження сертифікації фахівців з неруйнівного контролю» перечень НД структурирован по производственным секторам (6, 7, 10, 11, 12, 13, 14) и по методам НК (RT, UT, VT, MT, PT). Он докладывался на национальных (г. Киев) и международных (г. Ялта, г. Гурзуф) конференциях, а также на семинарах по НК. Экземпляры перечня в разные периоды были переданы заинтересованным учебным и аттестационным центрам и специалистам НК.

В Перечень включены как межгосударственные НД, т. е. НД бывшего СССР – ГОСТы, ОСТы СНиП, ВСН, РСН, РТМ, так и национальные (государственные) НД – ДСТУ, ГСТУ, СОУ, ДБН, ВБН и др., а также нормативно-правовые акты по охране труда (НПАОП). Это объясняется тем, что часть НД бывшего СССР не входит в список действующих в Украине или заменена национальными НД, а часть по-прежнему действует в Украине.

Отмена или замена НД вводится Законами, принятыми Верховной Радой Украины, Приказами, Постановлениями и Распоряжениями Центральными органами исполнительной власти (Кабмином Украины, Министерствами и ведомствами), Государственной службой Украины по вопросам труда (которая выполняет функции Госгортехнадзора), Государственным комитетом по строительству и архитектуре ([regulation.gov.ua](http://regulation.gov.ua)), «Будстандартом» и др.

### Краткая информация об указанных Законах, Постановлениях и пр.

#### О СТАНДАРТАХ

Верховной Радой Украины принят Закон Украины № 1315-VII «Про стандартизацію», который начал действовать с 03.01.2015 (в дальнейшем «Закон»). Функции национального органа стандартизации выполняет Государственное предприятие «Украинский научно-исследовательский и учебный центр проблем стандартизации и качества» (ДП «УкрНДНЦ»), который проходит процесс ребрендинга, т. е. изменения названия на ДП «Українське агенство зі стандартизації» (UAS).

Законом утверждены два уровня стандартизации:

- национальные стандарты, принятые национальным органом стандартизации, стандарты ДСТУ;
- стандарты, кодексы установившейся практики и технические условия, принятые предприятиями, учреждениями и организациями (СТП, СТТУ, СОУ).

К национальным (государственным) стандартам относятся:

а – ГОСТы СССР, изданные до 1992 г., которые еще не отменены;

б – вновь разработанные государственные (державні) стандарты и адаптированные версии ранее действующих стандартов и других НД СССР (ДСТУ);

в – отраслевые национальные стандарты (ГСТУ) и отраслевые стандарты СССР, которые еще не пересмотрены и не отменены (ОСТ);

г – стандарты, гармонизированные (идентичные) с европейскими (EN) и международными (ISO) стандартами (ДСТУ EN, ДСТУ ISO, ДСТУ EN ISO).

Национальные стандарты проверяются не реже одного раза в пять лет со дня их применения (статья 22 раздела 3 «Закона»).

К субъектам стандартизации, кроме национального органа стандартизации, относятся технические комитеты, в полномочия которых входят главным образом: разработка и согласование национальных стандартов и изменений к ним; участие в формировании программы работ национальной стандартизации; проверка и пересмотр национальных стандартов, разработчиками которых они являются и др. (Ст.15 «Закона Украины о стандартизации»).

Функции по разработке национальных стандартов по НК выполняет ТК-78, секретариат которого находится при ИЭС им. Е. О. Патона.

Информация о стандартизации опубликована на официальном веб-сайте Украинского агентства по стандартизации (UAS) <http://uas.org.ua>. Официальный каталог стандартов помещен на этом сайте в разделе «Национальный фонд нормативных документов и каталог нормативных документов», который обновляется ежемесячно, а также на сайте Минэкономразвития.

В соответствии с Постановлением Кабмина Украины от 02.12.2014 № 695, одобренного Верховной Радой Украины 11.12.2014 № 26-8 с замечаниями и дополнениями ДП «УкрНДНЦ» 2016–2017 гг. и приказом «Будстандарта» от 25.12.2015 г. № 209 на территории Украины прекращают действие стандарты СССР издания до 1992 г. (начиная с 01.01.2015 г. с продлением срока отмены на последующие годы).

Они отменяются полностью или заменяются на соответствующие национальные стандарты (ДСТУ), в том числе, на стандарты, гармонизированные (идентичные) с международными или европейскими стандартами. Замена осуществляется государственным методом подтверждения (языком оригинала) или методом перевода. Неотмененные ГОСТы считаются национальными до их полной отмены.

Согласно «Закону» отмененными ГОСТами можно пользоваться как справочным материалом, инструкцией, методикой, нормами и правилами.

Процесс отмены ГОСТов был продлен до 2019 г. Что касается ГОСТов СССР по методам неразрушающего контроля качества, то вначале ряд ГОСТов был отменен, а затем продлен до 2018 г. и 2019 г. и в настоящее время действующими до 2019 г. являются ГОСТы на все методы НК в том числе: ГОСТ 7512-82 Контроль неразрушающий (К.Н). Соединения сварные. Радиографический метод; ГОСТ 14782-86 К.Н. Соединения сварные. Методы ультразвуковые; ГОСТ 24522-80 К.Н. Капиллярный метод; ГОСТ 18442-80 К.Н. Капиллярный метод. Общие требования; ГОСТ 23479-79 К.Н. Метод оптический визуальный. Общие требования; ГОСТ 24521-80 Оптический неразрушающий контроль; ГОСТ 21105-87 К.Н. Магнитопорошковый метод, а также ГОСТы по определению геометрических параметров швов, действующие до 2019 г.: ГОСТ 17410-78, ГОСТ 14637-89, ГОСТ 21120-75, ГОСТ 22727-88, ГОСТ 24507-80, ГОСТ 28831-90, полное название которых указано в разделе Перечня НД «Определение геометрических параметров швов» и «Термины и определения».

Также отменяется действие отраслевых стандартов (ГСТУ, ОСТ), которые в течение 15 лет со дня опубликования «Закона» заменяются на национальные стандарты (ДСТУ) или на стандарты предприятия (СОУ, СТП и др.) или полностью отменяются. Таким образом, практически до 2030 г. будут действовать неотмененные стандарты Украины (ГСТУ), а также отраслевые стандарты СССР

(ОСТ) и приравненные к ним другие нормативные документы прежнего СССР (пункт 3 раздела УІ «Прикінцеві та перехідні положення «Закона»»).

Национальные и отраслевые стандарты применяются на добровольной основе, если обязательность их применения не установлена нормативно-правовыми актами (ст. 23 и часть 2 ст. 16 «Закона»).

В соответствии с частью 2 ст. 15 «Хозяйственного кодекса Украины» применение стандартов или их отдельных положений является обязательным для:

- субъектов хозяйствования, если обязательность применения стандартов установлена нормативно-правовыми актами;

- участников соглашения (контракта), касающегося разработки, изготовления или поставки продукции, если в ней есть ссылка на определенные стандарты;

- производителя или поставщика продукции, если он составил декларацию о соответствии продукции определенным стандартам или применения обозначения этих стандартов в ее маркировке.

Центральный орган исполнительной власти обеспечивает размещение на официальном веб-сайте текстов нормативных документов, обязательность применения которых установлена нормативно-правовыми актами с бесплатным доступом.

### О НПАОП

Показатели статуса «действует» и «отмена действия» НПАОПА утверждаются приказами Минсоцполитики Украины и Государственной службы Украины по вопросам труда («Держпраці»). До 2018 г. действовал Приказ «Держпраці» от 10.07.2017 № 88, а после 2018 г. – Приказ от 24.05.2018 № 55. Сведения об этом размещены на официальном веб-сайте «Держпраці» – [www.dsp.gov.ua](http://www.dsp.gov.ua), в разделе «діяльність», подраздел «регуляторна діяльність».

Согласно приведенным приказам действующие НПАОП, в которых имеются требования к НК и требования к безопасной эксплуатации, указаны в Перечне НД:

### О ДБН, ВБН

Действующие ДБН и ВБН (с требованиями к НК) указаны в рекомендуемом Перечне НД. Информация о действующих ДБН и ВБН размещена на сайте Минрегиона [minregion.gov.ua](http://minregion.gov.ua) (нормативно-правовая база). Информация о ДБН, ВБН, СНиП, ГОСТ имеется в электронном виде в Интернете online «Будстандарт». Заказ, покупка нормативных документов в бумажном виде осуществляется в «Держбуде».

### О СТАНДАРТАХ ПРЕДПРИЯТИЯ

Действующие СОУ (с требованиями к НК) указаны в рекомендуемом Перечне НД. Сведения о стандартах предприятия имеются в свободном доступе в Интернете на сайте [minregion.gov.ua](http://minregion.gov.ua) (нормативно-правовая база). Стандартизация предприятия не регулируется государством.

## АНАЛИЗ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ

Изложенное выше было учтено при составлении и корректировке предлагаемого Перечня НД с 01.01.2018, так как отмена, ввод новых НД или возобновление действия отмененных ГОСТов происходит периодически.

По поводу отмены в Украине, а затем восстановления ГОСТов СССР в 2017–2019 гг. в статье «ГОСТы повертають (Журнал «Охорона праці», № 3, 2018 г.) собственный корреспондент. З. Купина сказала: «У грудні 2014 р. Прем'єр-міністр України А. Яценюк заявив про намір України повністю відмовитися від радянської системи стандартизації та перейти на європейські стандарти вже до 2016 р. Проте не так сталося, як гадалося. І ось уже наприкінці 2017 р. після скасування стандартів, почали повертатися до них ... Якщо говорити про кількість відновлених стандартів, то, наприклад, наказом № 18 відновлено 350 ГОСТів, наказом № 38 – 94, наказом № 23 – 148, наказом №18 – 290, тощо» (За 2017–2018 гг. отменено 832 ГОСТа).

Такая ситуация, на наш взгляд, сложилась потому, что взамен отменяемых ГОСТов не были разработаны национальные стандарты по методам НК, которые бы учитывали национальные требования и интересы (Согласно п. 2 раз.УІ Закона «міждержавні стандарти (ГОСТи)... застосовуються як національні стандарти до їх заміни на національні стандарти») (подчеркиваем «на національні стандарти»). Потому-то и продлеваются ежегодно действия отмененных ГОСТов).

Рекомендованные же в качестве альтернативы как национальные стандарты, гармонизированные (идентичные) со стандартами EN и ISO, имеют кардинальные отличия от отменяемых ГОСТов как в структуре технологических подходов, так и в уровнях приемки-требованиях к оценке качества. Анализ этого положения был сделан еще в 2008 г. в статье Хорло Н. Ф. с соавторами «Требования стандартов европейского союза к неразрушающему ультразвуковому контролю сварных соединений», опубликованной в Вестнике НТУ «ХПИ» в 2008 г. (файл <http://archive/kharkiv/org/view/28312/>).

В п.4 ст.17 Закона сказано: «у разі прийняття європейського стандарту як національного забезпечується ідентичність національного стандарту відповідному європейському стандарту. З дня набрання чинності національним стандартом, що є ідентичним європейському стандарту, повинен бути скасований національний стандарт, положення якого суперечать положенням відповідного національного стандарту, що є ідентичним європейському стандарту».

Несмотря на то, что ДСТУ EN ISO были действующими, начиная с 2002 г. (2002, 2005, 2007, 2015, 2016, 2017), но ни один из действующих НД (НПАОП, ДСТУ, ДБН, ВБН, СОУ и др.) за эти годы не был переработан таким образом, чтобы учитывать требо-

вания ДСТУ EN ISO, а значит, и требования европейских и международных стандартов (как заявил в 2014 г. А. Яценюк). Причина этого в том что, во-первых, Закон о стандартизации начал действовать с 2015 г., а, во-вторых, стандарты согласно Закону применяются, исходя из принципа добровольности за исключением случаев их обязательности. А случаи обязательности согласно «Хозяйственному кодексу Украины» в основном определяются договоренностью (контрактом) между заказчиком и разработчиком продукции (объекта). Поэтому, как уже указывалось выше, требования EN, ISO или ДСТУ EN ISO и ссылки на них используются в настоящее время организациями, работающими с зарубежными фирмами по их требованию. В настоящее время фактически параллельно действуют два направления: 1 – применение отечественных НД и 2 – применение европейских (EN) и международных (ISO) НД.

Непростая ситуация складывается и с другими НД, в частности, с НПАОП, которые необоснованно отменяются без конкретных рекомендаций их замены, а если и заменяются спустя 5 лет после отмены действующих НД, то на НПАОПы 50- или 30-летней давности. Например, приказом МЧС Украины от 13.03.12 № 577 были отменены приказы Госкомитета Украины по надзору за охраной труда об утверждении НПАОП 0.00-1.08-94 (котлы) и НПАОП 0.00-1.07-94 (сосуды высокого давления), (то есть эти НПАОП были отменены), а приказом «Держпраці» от 01.07.17 № 88 были повторно введены, ранее выведенные НПАОП 0.00-1.60-66 (котлы) и НПАОП 0.00-1.59-87 (сосуды высокого давления) с ограниченной информацией о методах НК и критериях оценки дефектности. Приказами Минсоцполитики от 05.03.2018 № 333 и «Держпраці» от 24.05.2018 г. № 55 НПАОП 0.00-1.60-66 второй раз был отменен, а стал действующим с 05.03.2018 г. НПАОП 0.00-1.81-18 (котлы, бойлеры, посудины, цистерны, трубопроводы пара и горячей воды). Вместе с тем НПАОП 0.00-1.59-87 (сосуды) не был отменен. Таким образом, на сосуды высокого давления действуют два названных НПАОПа, два СОУ: СОУНПП 71.120-2017:2009, СОУНПЕ 0.1.17.307:2005, один ГСТУ 3-037:2003 и один ДСТУ – НБА3.1-32-2015, который был разработан ТК «Спецмонтаж» с целью восполнения указанного пробела в части критериев оценки дефектности.

И не зря Федерация профсоюзов Украины в журнале «Охорона праці», № 10, 2017 г. призывает Кабмин Украины предпринять меры к тому, чтобы регуляторные органы не допускали случаев необоснованной отмены НПАОП «без відповідних експертних висновків фахівців з охорони праці».

Из этого следует, что мир НД нельзя менять сегментарно. Прежде, чем полностью отказываться от советской системы стандартизации и переходить на европейские стандарты уже в 2016 г. (как



заявил в декабре 2014 г. А. Яценюк), необходимо подготовить условия для пререработки действующих НД, где имеются ссылки на предусматриваемые к отмене ГОСТы, и производить переработку ГОСТов и других НД комплексно, в обоих случаях одновременно, так как они тесно связаны друг с другом. Предстоит ответственная работа, регламенты, сроки, исполнители и стоимость которой должны быть заранее согласованы организациями, ответственными за пересмотр НД. А затем уже законодательным органом издавать «приказы» об отмене ГОСТов и других НД.

В статье «ГОСТы повергають» в журнале «Охорона праці», № 3, 2018 г., в частности, сказано, что необходимо «... поступово тільки після того, як будуть затверджені національні технічні регламенти, виносити рішення про скасування рядянських нормативних документів». А то, что их придется «скасовувати» ясно, как день, потому что преимущества стандартов EN и ISO очевидны.

В условиях рыночной экономики и в нашей заинтересованности в сотрудничестве с европейскими странами естественным является необходимость строить свою экономику в соответствии с требованиями европейских и международных норм и правил. В том же журнале «Охорона праці», № 3, 2018 г. в ст. М. Левицкого «Стандарты ISO – выход из комфорта» говорится о главных преимуществах системы международных стандартов ISO, в частности, про «можливість різних країн модернізувати за допомогою стандартів застарілі норми і правила, гармонізувати законодавчі та номативно-правові акти із загальноприйнятими міжнародними законами і принципами». А пока что, как говорят философы, «все старое должно решаться по-старому».

Пока осуществится переход на стандарты ISO, во всех НД издания до 2015 г., в которых имеются ссылки на ГОСТы, останутся не только требования норм и правил отменяемых ГОСТов (как разрешено «Законом о стандартизации»), но и ссылки на эти ГОСТы. Это касается и НД, изданных в 2018 г., так как действие ГОСТов продлевается до 2019 г. (то есть ГОСТы в тексте этих НД сохраняются).

Ситуация, естественно, изменится, если появятся НД издания после 2018 г., когда восстановленные в 2018 г. ГОСТы согласно приказам в январе-феврале ДП «УкрНДНЦ» перестанут быть действующими (если ГОСТы опять не будут восстановлены!!!).

Тогда в этих НД должны быть изложены требования и названия стандартов EN, ISO или ДСТУ EN ISO. В этом случае придется перерабатывать существующие НД или во вновь разрабатываемых НД заранее предусматривать требования европейских и международных стандартов. Но переход на европейские или международные стандарты усложняется тем, что все национальные НД, в том

числе НПАОПы, ориентированы на конкретные объекты, что в большинстве нормативов EN или ISO отсутствует. И Минсоцполитики и «Держпраці» будет трудно отказаться от применения НПАОПов. Выходом из положения могут стать стандарты предприятия или организаций, разработанные специалистами конкретных предприятий и организаций, в которых будут заложены те правила и нормы контроля, которые их устраивают, а в НПАОПх вместо ссылки на региональные, европейские или международные стандарты указать: «Неруйнівний контроль виконується згідно з вимогами діючих в Україні стандартів» и ввести устраивающие отрасль критерии дефектности. Поскольку стандартизация на предприятиях не регулируется государством, предприятия несут полную ответственность за применение своих стандартов.

В последней редакции представленного Перечня помещены НД, действующие в настоящий момент (с учетом опубликованной на веб-сайтах информации об их сроках действия), а также недавно отмененные НД – всего 148 НД.

На каждый объект действует один или несколько НД. Если в превалирующем НД (НПАОП, ДСТУ, ДБН, ВБН и др.) указаны как недопустимые, так и допустимые дефекты по результатам всех методов НК – RT, UT, MT, PT, VT, то он используется как основной НД, а если в нем указаны только недопустимые дефекты или нет ссылки на методы НК, применяемые для конкретных объектов, то дополнительно используются другие НД (Для сведения: то, что в отечественных НД называются допустимые дефекты в НД EN и ISO обозначено Imperfekt (несовершенство, несплошность), а выходящие за пределы допустимости – обозначены Defekt (недостаток, дефект).

Если имеет место неполная информация о методах НК или допустимости дефектов, или если они в последнее время были отменены (в Перечне НД они вычеркнуты), то в скобках указаны НД, которые необходимо дополнительно использовать, а также комментарии, касающиеся изменений НД.

Перечень НД не претендует на обязательность применения, а рекомендован специалистам НК в качестве информации или пособия для выбора НД, которые приемлемы как для заказчика, так и разработчика (изготовителя) конкретного объекта с учетом требований «Закона о стандартизации», приказов Минэкономразвития, Минсоцполитики, «Держбуду», «Держпраці» и Хозяйственного кодекса Украины.

*От редакции. Предлагаемый материал не претендует на полноту и законченность. Редакция журнала будет признательна читателям за высказанные замечания и дополнения к применению действующих нормативных документов.*

В. А. Цечаль, С. К. Ярмолка  
ЗАО «Технический Комитет «Спецмонтаж»

## МІЖНАРОДНА КОНФЕРЕНЦІЯ «СУЧАСНІ МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ І ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ»

10-14 вересня 2018 р. в Одесі в готелі «Курортний» відбулась ХХІІ міжнародна конференція «Сучасні методи та засоби неруйнівного контролю та технічної діагностики», яка була організована Інститутом електрозварювання ім. Є. О. Патона, Українським товариством неруйнівного контролю і технічної діагностики та Міжнародною Асоціацією «Зварювання». Інформаційну підтримку конференції надали журнали «Автоматическая сварка» та «Техническая диагностика и неразрушающий контроль»\*.

В роботі конференції взяли участь біля 150 учених та спеціалістів з України, Німеччини, Франції, Великої Британії, США, Грузії та Росії. Було заслухано 51 доповідь, 15 коротких повідомлень, проведені дискусії з проблемних питань неруйнівного контролю. Одночасно працювала велика виставка засобів неруйнівного контролю та технічної діагностики, на якій 10 провідних підприємств України демонстрували свої найкращі розробки останніх років та пропонували передові технології і обладнання від своїх закордонних партнерів.

Наукова програма. В перший робочий день конференції свої доповіді представили провідні наукові установи України, що працюють в галузі неруйнівного контролю.

Д. т. н., проф. Троїцький В. О. розповів про основні напрямки робіт ІЕЗ ім. Є.О. Патона з розвитку технологій неруйнівного контролю. Він зупинився на розробках з радіаційного контролю — сучасні рентгентелевізійні системи, автоматичне розшифровування зображень, портативні дозиметри, радіоскопія на основі ПЗС-матриць, цифрова обробка рентгенограм, їх розшифрування і архівація, дослідження композиційних матеріалів; ультразвукового контролю — направлені ультразвукові хвилі низької частоти для контролю протяжних об'єктів, використання дифракції хвиль для визначення розмірів дефектів, автоматизації контролю зварних з'єднань труб великого діаметру. Відзначено також нові розробки в магнітному, тепловому і візуальному контролі.

В доповіді акад. НАН України Лобанова Л. М. мова йшла про діагностику конструкцій методами лазерної інтерферометрії для контролю високоміцних сплавів та композиційних мате-

ріалів. В авіаційних конструкціях успішно застосовуються методи електронної широкорафії та спекл-інтерферометрії.

Д. т. н. Учанін В. М. представив доповідь ряду авторів з Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка (м. Львів) з аналізом фізичних методів неруйнівного контролю та технічної діагностики об'єктів тривалої експлуатації. Він відзначив основні напрямки розробок, в яких досягнуто суттєвих результатів:

- методологія та системи вібродіагностики обертових механізмів в нафтогазовій галузі та енергетиці;
- технології вихрострумове контролю та нові типи багатоелементних перетворювачів;
- надвисокочастотна та оптико-акустична діагностика композитних елементів авіаційної техніки;
- діагностичні комплекси для обстежень підземних трубопроводів.

Окрема доповідь д. т. н. Учаніна В. М. була присвячена розробці цілої гамми приладів та перетворювачів для контролю елементів авіаційних конструкцій вихрострумовим методом. Слід відзначити, що за цю роботу він став лауреатом Державної премії України в галузі науки і техніки у 2018 р.

Член-кор. НАН України Бабак В. П., заступник директора Інституту технічної теплофізики НАН України оприлюднив результати робіт з розроблення теоретичних засад, методів моніторингу та засобів вимірювальної техніки для контролю об'єктів генерування, транспортування та споживання теплової енергії.

Розроблено основи комплексного моніторингу всього теплоенергетичного циклу — від генерування до споживання. Поєднані теплові та акустичні методи моніторингу та контролю. Розроблені нормативні засади створення засобів теплотерії. Створено методики вимірювань тепловізійно-тепловиметричним методом опору теплопередаванню огорожувальних конструкцій будівель.

В окремій доповіді член-кор. НАН України Бабак В. П. розповів про напрямки розвитку систем діагностування виробів із композиційних матеріалів, що базуються на розвитку теоретичного, інформаційного та апаратно-програмного забезпечення.

\* Конференція НКТД-2018 проводилась паралельно з ІХ міжнародною конференцією «Математичне моделювання та інформаційні технології в зварюванні та споріднених процесах» (ММІТWRP-2018), яка була організована НАН України, ІЕЗ ім. Є.О. Патона та Міжнародною Асоціацією «Зварювання».





Пленарне засідання

Д. т. н., проф. Карпаш О. М. та д. т. н., проф. Райтер П. М. з Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу доповіли про основні результати досліджень для розробки та впровадження засобів неруйнівного контролю і технічної діагностики в нафтогазовій галузі. Дослідження інституту направлені на оцінку фактичного технічного стану металоконструкцій тривалої експлуатації, діагностику стану газорідних потоків, пошук новітніх інформаційних параме-

трів для оцінки стану об'єктів, підвищення достовірності результатів контролю, діагностування стану трубопроводів бурових веж, насосних та компресорних станцій і багато іншого.

В окремій доповіді д. т. н., проф. Карпаш О. М. розповів про технічне діагностування трубопровідних систем з врахуванням критеріїв їх енергоефективності. В ході досліджень проведено системний аналіз сучасних методів та методик оцінки енергоефективності роботи трубопровідних систем, здійснено математичний аналіз критеріїв енергоефективності експлуатації трубопровідних систем, досліджено технології та методи керування енергоефективністю і оптимізовано інформативні параметри, що визначають енергоефективність роботи систем транспортування вуглеводнів.

Д. т. н., проф. Сучков Г. М. з Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» доповів слухачам про стан досліджень і розробок в області неруйнівного електромагнітно-акустичного контролю. Він виконав аналіз інформаційних джерел за остан-



Стенд Генерального спонсора конференції – УкрНДІНК





Виставка засобів НКТД – Хімлаборактив

ні 15 років з теоретичних досліджень, розробки ЕМА перетворювачів, чутливості та застосування ЕМА контролю.

Три доповіді привіз в Одесу відомий спеціаліст з контролю в атомній енергетиці д. т. н., проф. Разираєв М. П. з ЦНДІТМаш (Москва):

«Сучасні методи і засоби ультразвукового контролю. Дифракційні методи акустичного контролю: науковий і технологічний розвиток і практика застосування»; «Методика УЗК композитних зварних з'єднань приварки перехідників до патрубків Ду 1100 парогенератора ПГВ-213»; «Застосування УЗК для оцінки працездатності вузлів приварки колектора до патрубка парогенератора ПГВ-1000 М».

Всі ці доповіді вносять вагомий вклад у вирішення проблемних питань з контролю експлуатаційної надійності атомних енергетичних установок.

Наукова програма другого дня конференції була сформована на основі тематичних блоків.

Перший блок доповідей було присвячено розвитку електромагнітних методів контролю.

Доповідь д. т. н. Учаніна В. М і д. т. н. Мінакова С. М. була присвячена питанню визначення механічних напружень в конструкціях із феромагнітних сталей магнітоанізотропним методом. Було показано, що перспективними об'єктами для застосування цього методу є зварні з'єднання, де результати магнітоанізотропних вимірювань залишкових напружень розтягу і стиску добре корелюють з вимірюванням традиційним методом свердлення отворів.

За дорученням групи авторів д. т. н. Учанін В. М. доповів про розробку та застосування багатоелементних вихрострумівих параметричних перетворювачів.

Цікавим був виступ Герхарда Моока із Магдебурзького університету (Німеччина) про те, як цікаво навчати вихрострумівому контролю фахівців з використанням комп'ютерної техніки та смартфонів.



Виставка засобів НКТД – Укрінтех



Виставка засобів НКТД – Укрінтех



Виставка засобів НКТД – ОНІКО



Виставка засобів НКТД – Харків Прилад





Виставка засобів НКТД – Ультразвук



Виставка засобів НКТД – Діагностичні Прилади



Виставка засобів НКТД – Діагностика та Контроль



Виставка засобів НКТД – Новотест

Велику групу авторів з НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» та ІЕЗ ім. Є. О. Патона представляв д. т. н. Куц Ю. В. Він розповів про оцінку похибок визначення характеристик сигналів вихрострумowego контролю за їх нерегулярної дискредитації. В доповіді розглянуто питання впливу нерегулярної дискредитації на похибки визначення характеристик інформаційних сигналів комп'ютеризованої системи вихрострумowego контролю.

Д. т. н., проф. Селіванов Ю. М. з Дніпровського національного університету ім. О. Гончара доповів про можливість використання методу комбінованих голографічних інтерферогам в неруйнівному контролі технічних об'єктів в умовах їх нестаціонарних станів.

Д. т. н. Петріченко Г. І. з ТОВ «Харків-прилад» в своїй доповіді висвітлив питання забезпечення єдності вимірювань в галузі інфрачервоних вимірювань для аудиту обстежень будівель щодо енерговитрат.

Другий блок доповідей був присвячений новій для таких конференцій темі — технічному контролю залізобетонних конструкцій. З вступним словом виступив к. т. н., проф. Городжа А. Д. з Київського національного університету будівництва і архітектури. Він проаналізував сьогоденний стан цього питання в Україні.

Його колега к. т. н. Трощинський Б. О. розповів про практику обстеження фундаментів існуючих будівель і споруд та про діагностування залізобетонних паль методами віброударної діагностики і акустичного каротажу.

Третій блок доповідей був присвячений технічному контролю в залізничному транспорті. К. т. н., проф. Пуларія А. Л., з Дніпровського національного університету залізничного транспорту ім. В. Лазаряна детально проаналізував контроль технічного стану рухомого складу залізних доріг в сучасних умовах.

Його колега к. т. н. Рейдемейстер А. Г. зупинився в своїй доповіді на оцінці залишкового ресурсу кузовів пасажирських вагонів, що ви-



Виставка засобів НКТД – ІНТРОН-СЕТ

черпали призначений термін експлуатації після капітально-відновлювального ремонту.

Четвертий тематичний блок доповідей був присвячений питанням вібродіагностики. Учасники конференції заслухали доповіді Баглая А. В. з ДП «Діамех-Україна» (Харків) про стаціонарні системи моніторингу технічного стану промислового обладнання металургійного виробництва та Юзефовича Р. М. з ФМІ ім. Г. В. Карпенка (Львів) про взаємоспектральний аналіз вібраційних сигналів для виявлення та локалізації дефектів елементів механічних конструкцій.

На вечірньому засіданні виступили з доповідями д. т. н. Чепурних Г. К. з Інституту прикладної фізики (Суми) «Розробка ефективних джерел ультразвуку для дефектоскопії» та Деменчук Е. В. з ПАТ «ММК ім. Ілліча» (Маріуполь) «Термографія технічних трубопроводів різного призначення. Визначення і розрахунок відкладень на внутрішній стінці трубопроводів».

Наступні доповіді за тематикою носили характер нормативно-організаційних. Серед них найбільший інтерес викликав виступ Щупак С. О. з ІЕЗ ім. Є. О. Патона (Київ), що розповіла про новини стандартизації і сертифікації в галузі неруйнівного контролю. Вона є відповідальним секретарем Технічного комітету з стандартизації (ТК-78) «Технічна діагностика та неруйнівний контроль». Слід відзначити, що на сьогодні в Україні введено в дію біля 200 міжнародних та європейських стандартів в галузі неруйнівного контролю. Також прийняті всі чинні міжнародні та європейські стандарти, що встановлюють вимоги до підготовки, атестації та підтвердження кваліфікації персоналу НК, а також вимоги до організацій, які надають такі послуги.

Нормативно-правові проблеми також висвітлювались в доповідях Цечалю В. О. (ТОВ ТК «Спецмонтаж», Київ), Герашенка В. В. (ПАТ «УкрстальКонструкція», Київ), Балачуна В. І. (ТОВ «ПромТехДіагностика», Кривий Ріг), д. т. н., проф. Білокура І. П. (Національний авіаційний університет, Київ), к. т. н. Бондаренка Ю. К. (ІЕЗ ім. Є. О. Патона, Київ).

Програма третього дня роботи конференції розпочалась виступом Посипайка Ю. М. з ІЕЗ ім. Є. О. Патона. Він розповів про розробку оптоелектронного сенсорного течошукача на витоки аміаку та про технічне діагностування резервуарів на антарктичній станції «Академік Вернадський». Гефсиманський Е. Е. з Запорізької АЕС доповів про підготовку персоналу контролю металу на базі тренажерного комплексу УТЦ ВП ЗАЕС.

Чотири доповіді-презентації про найновіші дефектоскопи представили фахівці ТОВ «Хімлаборреактив» та їх закордонні партнери:

– Laurent Enenkel (Zetec, Франція). Портативний вихрострумний дефектоскоп MIZ-21C з функцією роботи з матричними перетворювачами.

– Dr. Eli Leinov (Gvided Ultrasonics, Великобританія). Ультразвуковий контроль направленими хвилями. Особливості застосування технології.

– Francois Wlodarczyk (Zetec, Франція). Особливості обладнання та програмного забезпечення компанії Zetec в області вихрострумного контролю.

– Козарчук Д. В. Нові розробки в області контролю захисних покриттів від компанії Helmut Fischer.

Конференцію в приморській Одесі було б неможливо провести без підтримки спонсорів. Їм оргкомітет конференції виражає щирі подяку.

Генеральним спонсором конференції став Український НДІ неруйнівного контролю (директор к. т. н. Луценко Г. Г., заст. директора Луценко Т. М.). УкрНДІНК разом з НВФ «Ультракон-сервіс» та НВФ «Промприлад» є провідним в Україні виробником дефектоскопів та автоматизованих установок для ультразвукового, вихрострумного, магнітного контролю, товщинометрії, твердометрії, акустичної емісії та ін.

Спонсорами конференції також стали НВП «ІНТРОН-СЕТ» (Київ) — прилади для технічного та екологічного контролю, обстеження будинків та споруд, ремонтні матеріали та інструменти.

ТОВ «Хімлаборреактив» (Бровари, Київська обл.) — багатопрофільна компанія, що комплексно оснащує лабораторії (обладнання, меблі, ре-



Під час прийому з нагоди конференції





Співголови організаційного комітету конференції Посипайко Ю. М. та Зельніченко О. Т.

активи, посуд і т. п.). Департамент неруйнівного контролю пропонує лінійку найсучасніших дефектоскопів для ультразвукового і вихрострумового контролю та аналізу матеріалів і захисних покриттів.

Компанія ОНІКО (Київ) — багатопрофільна компанія, що пропонує медичну продукцію, обладнання для водопостачання, тренажери, та учбові стимулятори та засоби неруйнівного контролю провідних світових виробників.

Компанія УКРІНТЕХ (Харків) — виробництво і поставки випробувального обладнання для не-

руйнівного контролю, металографії, вібродіагностики, твердометрії. Випробувальна лабораторія. Сервісний центр.

Окрасою конференції стала виставка засобів неруйнівного контролю і технічної діагностики. Оргкомітету вдалося зібрати в одному місці всіх основних виробників і постачальників засобів неруйнівного контролю в Україні. На десяти стендах було представлено обладнання і матеріали для найприскіпливіших фахівців.

Крім спонсорів, що названі вище, у виставці також взяли участь НВФ «Ультракон» (Київ, директор Павлій І. В.), НВФ «Діагностичні прилади» (Київ, директор Павлій О. В.), ТОВ «Харків-прилад» (Харків, директор Петріченко Г. І.), НВЦ «Діагностика і контроль» (Миколаїв, директор Ярковець О. Ч.), НВЦ «Промтехнологія» (Новомосковськ, NOVOTEST, комерційний директор Черкасов С. С.), ТОВ «Мелітек-Україна» (Київ, директор Верцанова О. В.).

Оргкомітет вдячний спонсорам, учасникам виставки, авторам доповідей та всім, хто прийшов на конференцію в Одесу. Бажаємо всім професійних успіхів та особистого щастя. Ми сподіваємось, що знову зустрінемося з Вами в Одесі на конференції у 2020 р.

*Посипайко Ю. М., Зельніченко О. Т.*

## XVII МЕЖДУНАРОДНЫЙ ПРОМЫШЛЕННЫЙ ФОРУМ – 2018

МЕЖДУНАРОДНЫЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ВЫСТАВКИ

# 20–23 НОЯБРЯ



ufi  
Approved  
Event



### ОРГАНИЗАТОР:

Международный выставочный центр

Генеральный  
информационный партнер:

ФЕДУРАЛІВНЕ  
ІНТЕРВ'ЄНЦІОНАЛЬНЕ  
ІНФОРМАЦІОННЕ  
АГЕНСТВО

Эксклюзивный  
медиа партнер:

ЖУРНАЛ  
ГОЛОВНОГО ІНЖЕНЕРА

Технический  
партнер:

RentMedia



Международный выставочный центр  
Украина, 02002, Киев  
Броварской пр-т, 15  
М "Левобережная"

☎ (044) 201-11-65, 201-11-56, 201-11-58

e-mail: alexk@iec-expo.com.ua

www.iec-expo.com.ua, www.мвц.укр

www.tech-expo.com.ua

## ПОДПИСКА — 2019

### на журнал «Техническая диагностика и неразрушающий контроль»

Украина		Зарубежные страны	
на полугодие	на год	на полугодие	на год
<b>330 грн.</b>	<b>660 грн.</b>	<b>30 евро</b>	<b>60 евро</b>

В стоимость включена доставка заказной бандеролью



Подписку на журнал «Техническая диагностика и неразрушающий контроль» можно оформить непосредственно через редакцию или по каталогам подписных агентств «Пресса», «АС-Медиа», «ПресЦентр Киев», «Информнаука», «Блицинформ», «Меркурий».

Подписка на электронную версию журнала  
**«Техническая диагностика и неразрушающий контроль»**  
на сайте: [www.patonpublishinghouse.com](http://www.patonpublishinghouse.com).

Правила для авторов: [www.patonpublishinghouse.com/rus/journals/tdnk/rules](http://www.patonpublishinghouse.com/rus/journals/tdnk/rules)  
Лицензионное соглашение: [www.patonpublishinghouse.com/rus/journals/tdnk/license](http://www.patonpublishinghouse.com/rus/journals/tdnk/license)  
В 2019 г. в открытом доступе архивы статей журнала за 2003–2017 гг.

## РЕКЛАМА в журнале

### «Техническая диагностика и неразрушающий контроль»

**Реклама публикуется на обложках и внутренних вкладышах следующих размеров**

- Первая страница обложки (190x190 мм)
- Вторая, третья и четвертая страницы обложки (200x290 мм)
- Первая, вторая, третья, четвертая страницы внутренней обложки (200x290 мм)
- Вклейка А4 (200x290 мм)
- Разворот А3 (400x290 мм)
- 0,5 А4 (185x130 мм)
- Размер журнала после обрезки 200x290 мм

- В рекламных макетах, для текста, логотипов и других элементов необходимо отступать от края модуля на 5 мм с целью избежания потери части информации. Все файлы в формате IBM PC
- Corell Draw, версия до 10.0
- Adobe Photoshop, версия до 7.0
- QuarkXPress, версия до 7.0
- Изображения в формате TIFF, цветовая модель CMYK, разрешение 300 dpi

**Стоимость рекламы и оплата**

- Цена договорная

- По вопросам стоимости размещения рекламы, свободной площади и сроков публикации просьба обращаться в редакцию
- Для постоянных партнеров предусмотрена система скидок
- Стоимость публикации статьи на правах рекламы составляет половину стоимости рекламной площади
- Публикуется только профильная реклама (техническая диагностика и неразрушающий контроль)
- Ответственность за содержание рекламных материалов несет рекламодатель

**Контакты:**  
Тел./факс: (38044) 205-23-90; 200-82-77  
E-mail: [journal@paton.kiev.ua](mailto:journal@paton.kiev.ua)  
[www.patonpublishinghouse.com](http://www.patonpublishinghouse.com)

Подписано к печати 20.09.2018. Формат 60x84/8. Офсетная печать.  
Усл. печ. л. 9,04. Усл.-отт. 9,89. Уч.-изд. л. 10,24  
Печать ООО «ДИА». 03022, г. Киев-22, ул. Васильковская, 45.