

**РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ**

**Л.М. ЛОБАНОВ** (головний редактор),

**А.Я. Недосєка** (заст. гол. ред.),

**В.О. Троїцький** (заст. гол. ред.),

**Є.О. Давидов, С.А. Недосєка,**

**Ю.М. Посипайко,**

**І.Ю. Романова** (відповід. секретар)

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України,  
м. Київ

**В.Л. Венгринович**

Інститут прикладної фізики НАН Білорусі, Мінськ

**К. Драган**

Технологічний інститут повітряних сил,  
Варшава, Польща

**М.Л. Казакевич**

Інститут фізичної хімії ім. Л.В. Писаржевського  
НАН України, м. Київ

**О.М. Карпаш**

Івано-Франківський нац. техн. університет нафти і газу

**Л.І. Муравський, З.Т. Назарчук, В.Р. Скальський,**

**В.М. Учанін**

Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН  
України, м. Львів

**Г.І. Прокопенко**

Інститут металофізики ім. Г.В. Курдюмова  
НАН України, м. Київ

**А.Г. Протасов, С.К. Фомічов**

НТУ України «КПІ імені Ігоря Сікорського», м. Київ

**В.О. Стороженко**

Харківський національний університет радіоелектроніки

**В.О. Стрижало**

Інститут проблем міцності ім. Г.С. Писаренка  
НАН України, м. Київ

**М.Г. Чаусов**

Національний університет біоресурсів і  
природокористування України, м. Київ

**Засновники**

Національна академія наук України,  
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАНУ,  
Міжнародна Асоціація «Зварювання» (видавець)

**Адреса редакції**

ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України

03150, Україна, м. Київ,

вул. Казимира Малевича, 11

Тел./факс: +38 (044) 200-82-77

E-mail: journal@paton.kiev.ua

www.patonpublishinghouse.com/ukr/journals/tdnk

Свідоцтво про державну реєстрацію

КВ4787 від 09.01.2001

Журнал входить до переліку затверджених

Міністерством освіти і науки України видань

для публікації праць здобувачів наукових ступенів за

спеціальностями 132, 151, 152.

Наказ МОН України № 409 від 17.03.2020.

**Передплата 2021**

Передплатний індекс 74475.

4 випуски на рік (видається щоквартально).

Друкована версія: 960 грн. за річний комплект

з урахуванням доставки рекомендованою бандероллю.

Електронна версія: 960 грн. за річний комплект

(випуски журналу надсилаються електронною поштою

у форматі .pdf або для IP-адреси комп'ютера

передплатника надається доступ до архіву журналу).

За зміст рекламних матеріалів

редакція журналу відповідальності не несе.

**ЗМІСТ**

**НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ**

*УЧАНІН В.М., ОСТАШ О.П., БИЧКОВ С.А., СЕМЕНЕЦЬ О.І.,  
ДЕРЕЧА В.Я.* Вихрострумний моніторинг деградації  
алюмінієвих сплавів під час тривалої експлуатації авіа-  
ційної техніки ..... 3

*НЕДОСЄКА А.Я., НЕДОСЄКА С.А., ЯРЕМЕНКО М.А.,  
ОВСІЄНКО М.А., САВЧЕНКО О.К., ЕПОВ С.Г.* Інтегру-  
вання методу АЕ в технологію ремонту і продовження  
ресурсу металоконструкцій ..... 11

*ГОПКАЛО О.П., ЗЕМЦОВ М.В., ГОПКАЛО О.Є.,  
БОДУНОВ В.Є., БЕЗЛЮДЬКО Г.Я., СОЛОМАХА Р.М.*  
Діагностування пошкодженості гусеничних траків при  
механічному навантаженні за результатами вимірювання  
коерцитивної сили ..... 17

*СТРИЖАЛО В.О., СТАСЮК С.З.* Контроль технічного  
стану технологічного обладнання нафтопереробних  
виробництв за довготривалої експлуатації у водневовміс-  
ному робочому середовищі ..... 27

**ВИРОБНИЧИЙ РОЗДІЛ**

*СТОРОЖЕНКО В.О., МЕШКОВ С.М., ОРЕЛ Р.П.,  
МЯГКИЙ О.В.* Досвід НТЦ «Термоконтроль» в області  
теплового неруйнівного контролю ..... 32

*КІПІН М.М.* Годографи взаємодії елементів конічної пере-  
дачі в прокатній кліті. .... 43

*РАЗЫГРАЕВ Н.П., РАЗЫГРАЕВ А.Н.* Ультразвуковою  
контроль головними волнами сварних з'єдинень  
трубопроводов Ду-300 на Чернобыльской АЭС ..... 48

**ІНФОРМАЦІЯ**

В.О. Троїцькому – 85 ..... 59

Конференції, виставки, семінари – 2021. .... 60

Дати, події, факти з історії неруйнівного контролю ..... 62

Видання журналу підтримують:

Українське товариство неруйнівного контролю та технічної діагностики,  
Технічний комітет стандартизації «Технічна діагностика та неруйнівний контроль» ТК-78

**EDITORIAL BOARD**

**L.M. Lobanov** (Editor-in-Chief),

**A.Ya. Nedoseka** (Deputy Editor-in-Chief),

**V.O. Troitskyi** (Deputy Editor-in-Chief),

**Ie.O. Davydov, S.A. Nedoseka,**

**Yu.M. Posypaiko,**

**I.Yu. Romanova** (execut. secretary)

E.O. Paton Electric Welding Institute of NAS of Ukraine, Kyiv

**V.L. Vengrinovich**

Institute of Applied Physics of the NAS of Belarus, Minsk

**K. Dragan**

Air Force Institute of Technology, Warsaw, Poland

**M.L. Kazakevich**

L.V. Pisarzhevskii Institute of Physical Chemistry  
of NAS of Ukraine, Kyiv

**O.M. Karpash**

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

**L.I. Muravsky, Z.Th. Nazarchuk, V.R. Skalskyi, V.M. Uchanin**  
Karpenko Physico-Mechanical Institute of NAS of Ukraine, Lviv

**G.I. Prokopenko**

G.V. Kurdyumov Institute for Metal Physics  
of NAS of Ukraine, Kyiv

**A.G. Protasov, S.K. Fomichov**

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv  
Polytechnic Institute»

**V.O. Storozhenko**

Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine

**V.O. Stryzhalo**

G.S. Pisarenko Institute for Problems  
of Strength of NAS of Ukraine, Kyiv

**M.G. Chausov**

National University of Life and Environmental Sciences  
of Ukraine, Kyiv

**Founders**

National Academy of Sciences of Ukraine,

E.O. Paton Electric Welding Institute of NAS of Ukraine,  
International Association «Welding» (Publisher)

**Address**

E.O. Paton Electric Welding Institute of NAS of Ukraine  
03150, Ukraine, Kyiv, 11 Kazymyr Malevych Str.

Tel./Fax: +38 (044) 200-82-77

E-mail: journal@paton.kiev.ua

www.patonpublishinghouse.com/eng/journals/tdnk

The Journal is included in the list of publications approved  
by the Ministry of Education and Science of Ukraine  
for the publication of works of applicants for academic degrees  
in specialties 132, 151, 152.

Order of the MES of Ukraine № 409 of 17.03.2020.

Certificate of state registration  
of KB 4787 dated 09.01.2001

**Subscription 2021**

Subscription index 74475.

4 issues per year (issued quarterly), back issues available.

\$72, subscriptions for the printed (hard copy) version,  
air postage and packaging included.

\$60, subscriptions for the electronic version  
(sending issues of Journal in pdf format  
or providing access to IP addresses).

The editorial board is not responsible  
for the content of the promotional material.

**CONTENT**

**SCIENTIFIC AND TECHNICAL**

*UCHANIN V.M., OSTASH O.P., BYCHKOV S.A., SEMENETS O.I., DERECHA V.Ya.* Eddy current monitoring of aluminium alloy degtadation during long-term operation of aircraft ..... 3

*NEDOSEKA A. Ya., NEDOSEKA S.A., YAREMENKO M.A., OVSIIENKO M.A., SAVCHENKO O.K., EPOV S.G.* Iteration of the AE method into the technology of repair and extension of life of metal structures..... 11

*GOPKALO O.P., ZEMTSOV M.P., GOPKALO O.Ye., BODUNOV V.Ye., BEZLYUDKO G. Ya., SOLOMACHA P.M.* Ddiagnosis of damage to caterpillar tracks under mechanical loading based on the results of measurements of the coercive force ..... 17

*STRIZHALO V.O., STASYUK S.Z.* Control of technical condition of technological equipment of petroleum-processing productions in long-term service in hydrogen-containing working environment..... 27

**INDUSTRIAL**

*STOROZHENKO V.O., MESHKOV S.M., OREL R.P., MIAHKYI O.V.* Experience of research and technical center «Thermocontrol» in the area of thermal non-destructive testing.... 32

*KIPIN M.M.* Hodographs of iteration of the elements of bevel drive in the rolling stand..... 43

*RAZYGRAEV N.P., RAZYGRAEV A.N.* Ultrasonichead wave control of welded connections of Du-300 pipelines at Chernobyl nuclear power plant ..... 48

**INFORMATION**

V.O. Troitskyi is 85 ..... 59

Conferences, exhibitions, seminars – 2021 ..... 60

Dates, events, facts in the history of non-destructive testing ..... 62

JOURNAL PUBLICATION IS SUPPORTED BY:

Ukrainian Society for Non-Destructive Testing and Technical Diagnostic,  
Technical Committee on standartization «Technical Diagnostics and Non-Destructive Testing» TC-78

# УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ ГОЛОВНЫМИ ВОЛНАМИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТРУБОПРОВОДОВ Ду-300 НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

Н.П. Разыграев, А.Н. Разыграев

АО «НПО «ЦНИИТМАШ». 109088, г. Москва, ул. Шарикоподшипниковская, 4. E-mail: NPRazygraev@cniitmash.com

В настоящей работе ставилась цель ознакомить читателей с опытом разработки специалистами НПО «ЦНИИТМАШ» УЗК головными волнами трубопроводов из аустенитных сталей, который был применен при оценке состояния трубопроводов Ду-300 на Чернобыльской АЭС. Библиогр. 16, табл. 2, рис. 14.

*Ключевые слова:* ультразвуковой контроль (УЗК), трубопроводы, аустенитная сталь, продольная волна, поперечная волна, головная волна (ГВ), подповерхностная волна, сварное соединение, методика контроля, межкристаллитное коррозионное растрескивание под напряжением, трещина

В 1986–1987 гг. на АЭС с РБМК-1000 впервые были обнаружены и идентифицированы повреждения вследствие межкристаллитного коррозионного растрескивания под напряжением (МКРПН) в сварных соединениях водоуравнительных трубопроводов барабан-сепараторов РБМК. В те годы эффективной и работоспособной методики УЗК для выявления дефектов МКРПН не существовало.

На Чернобыльской АЭС в 1987 г. было проведено опытное исследование возможности применения УЗК методом ГВ для выявления трещин МКРПН в сварных соединениях трубопроводов из аустенитных сталей (АСС) Ду-300 (325×12 мм). Исследования проводилось на специальной катушке (отрезке трубы) с реальным сварным соединением, в котором предположительно имелась трещиноподобная несплошность, с помощью искателя ГВ ИЦ-91 («тандем»).

Следует отметить, что ещё на самых ранних этапах исследований УЗК ГВ при разработке первой методики контроля было отмечено наличие различных паразитных сигналов при УЗК изделий, элементов и сварных соединений толщиной до 30 мм [1, 2]. В «Методике контроля изделий головными ультразвуковыми волнами» 1974 г. (п. 1) не рекомендовалось применять УЗК ГВ при толщине элементов менее 30 мм. Наши исследования всех ГВ [3], возникающих одновременно с первой ГВ (рис. 1), позволили идентифицировать все эти «ложные» сигналы и учесть их в новых современных методиках, способах и операциях УЗК. Так, например, в связи с применением искателя ГВ типа «тандем» ИЦ-91 была разработана новая технология УЗК «корневой тандем» для выявления дефектов вблизи и на донной поверхности. В этом способе была исследована поперечная волна (рис. 2), возбуждаемая в стали под третьим критическим углом (она намного мощнее, чем ГВ), а затем использована

© Н.П. Разыграев, А.Н. Разыграев, 2021

ещё более мощная поперечная волна с углом ввода  $\sim 35^\circ$ , возбуждаемая падающей под углом  $\sim 29 \dots 30^\circ$  продольной волной с максимальным коэффициентом прохождения в сталь (рис. 2, а).

Позднее при разработке методики УЗК сварных соединений биметаллических трубопроводов Ду-850 искатель КТ-35 был переработан в КТ-45 с углом ввода поперечной волны  $45^\circ$ , который обеспечил возможность выявления поднаплавочных трещин с наружной поверхности трубопровода (рис. 2, б). Эта методика УЗК была включена в ПНАЭГ-7-30-91 [4].

Первичные исследования УЗК ГВ на трубе толщиной 12...15 мм на Чернобыльской АЭС вновь продемонстрировали существенные сложности при расшифровке множества сигналов УЗК от отражателей в АСС. Определенный оптимизм появился при обследовании и фиксации сигналов ГВ на участке, где предположительно располагалась трещина. Быстро создать методику выявления трещин в АСС трубопроводов Ду-300 с помощью УЗК ГВ не удалось. Первичные исследования показали

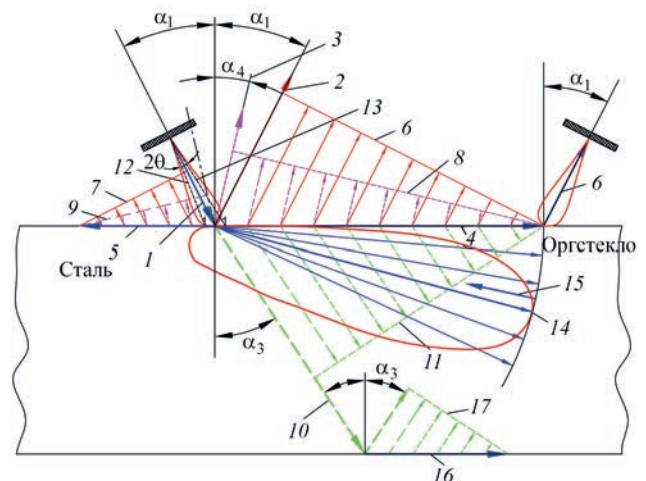


Рис. 1. Образование волн на границах раздела и вблизи них при критических и околочитических углах

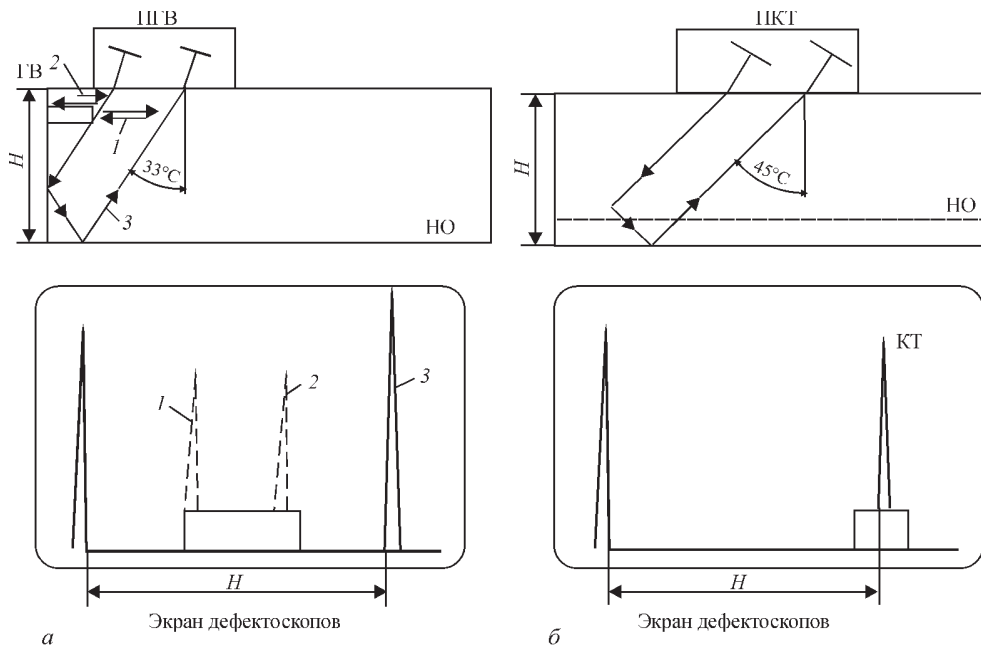


Рис. 2. Схемы УЗК и выявления дефектов в подповерхностном слое и под аустенитной антикоррозионной наплавкой: *а* – головными волнами; 1 и 2 – ход лучей и эхо-сигналы ГВ соответственно от дна плоскдонного отверстия и от торца настроечного образца (НО); 3 – ход лучей и сигнал поперечной волны (ПГВ) по схеме «корневой тандем» (КТ); *б* – ход лучей по схеме «корневой тандем» КТ-45 поперечными волнами (ПКТ) при выявлении поднаплавочных трещин при УЗК снаружи трубопровода или сосуда

необходимость проведения специальных исследований и разработки новой методики УЗК.

На новом этапе работ по УЗК АСС Ду-300 совместные изыскания с конструкторами и эксплуатационниками АЭС с РБМК-1000 показали:

- трещины МКРПН инициируются на внутренней поверхности сварных соединений вблизи линии сплавления и распространяются на расстоянии 0,7...1,0 мм вглубь сечения и в кольцевом направлении по окружности трубы;

- трещины, берущие начало как бы в одной точке (на расстоянии 1,5 мм от линии сплавления в корне шва), «паукообразно» распространяются преимущественно в основной металл и в меньшей степени в металл шва.

Трещинообразование по механизму МКРПН происходит при одновременном присутствии трех основных факторов:

- коррозионно-активной среды с присутствием кислорода в теплоносителе (около 30 мкг/кг);
- узкой чувствительной зоны (балл 1-3 зерна аустенита) вследствие повышенного тепловложения от многопроходной сварки;
- высоких растягивающих напряжений и наличия концентраторов на внутренней поверхности сварного соединения [5].

На рис. 3 представлена трещина МКРПН, выявленная УЗК ГВ после металлографического исследования сварного соединения опускного трубопровода. Выявленные кольцевые трещины инициируются в околшовной зоне (ОШЗ). Они имеют весьма слабое раскрытие, ветвистый характер и тонкие ответвления от магистральной

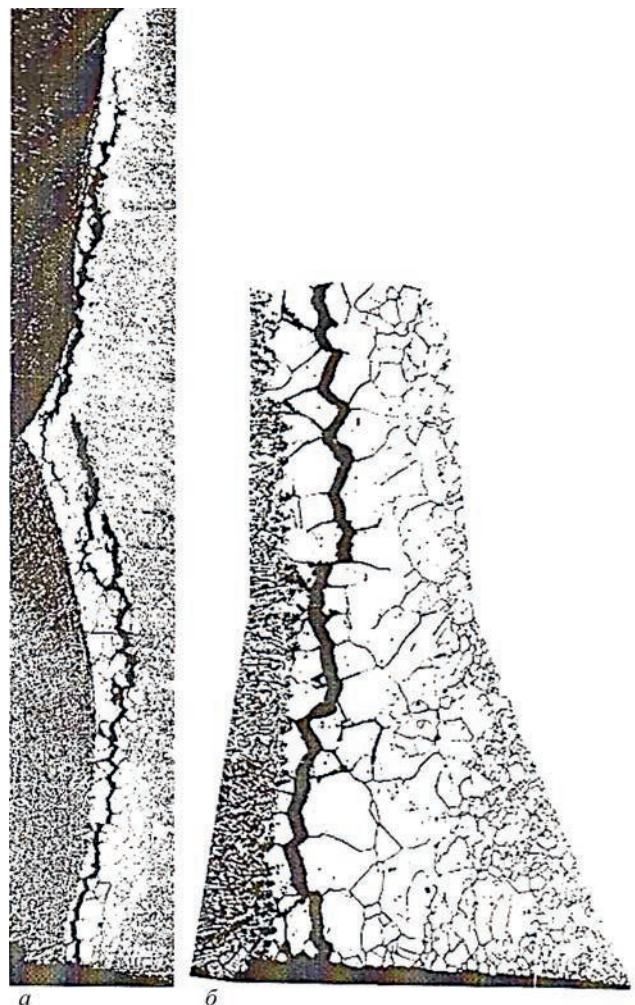


Рис. 3. Трещина МКРПН после металлографического исследования аустенитного сварного соединения опускного трубопровода: общий вид трещины и структуры металла АСС (*а*), начало трещины (*б*)

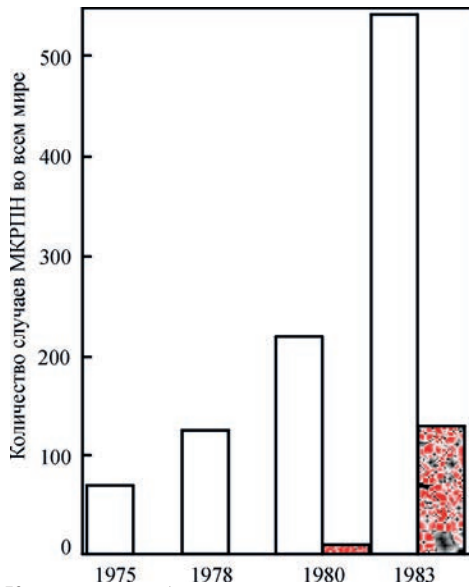


Рис. 4. Количество наблюдавшихся повреждений на трубопроводах реакторной установки типа ВВР в начальный период проявления механизма МКРПН: □ – для всех трубопроводов; ■ – для всех трубопроводов свыше 20 дюймов (510 мм) трещины. Высота трещин может достигать 2/3 толщины трубы. На участках с трещинами металл в ОШЗ имеет крупнозернистую структуру (балл 1, 2, 3), образовавшуюся под воздействием термического цикла многопроходной сварки. Такая структура границы обуславливает образование эхо-сигналов поперечной волны из-за их отражения от границы зерен с различным размером. Эти

паразитные сигналы поперечных волн от структурных неоднородностей металла при отсутствии несплошностей объясняют физическую суть невозможности качественной УЗД аустенитных сварных соединений поперечными УЗ волнами.

Следует отметить, что на АЭС западных стран и Японии с реакторами ВВР с проблемой растрескивания сварных соединений трубопроводов, изготовленных из аустенитных сталей, столкнулись в начале 70-х г. XX ст. [6]. В Германии впервые трещины были замечены на втором блоке Дрезденской АЭС в 1994 г. [7]. На АЭС США проблема коррозионного растрескивания имела большие масштабы. В среднем 25 % сварных соединений имели показания на наличие трещины, причем на некоторых блоках уровень дефектности доходил до 50 % [8]. Количество наблюдавшихся повреждений на трубопроводах реакторных установок ВВР в начальный период проявления механизма показано на рис. 4 [9].

На АЭС РФ проблема трещинообразования в сварных соединениях трубопроводов 325×16 мм (Ду-300) реакторов РБМК-1000 остро встала в начале 1997 г. Сначала множественные трещины были выявлены на опускных трубопроводах Ленинградской АЭС, затем на Курской АЭС.

В 1997 г. в связи с массовым появлением трещин в трубопроводах Ду-300 концерн «РОСЭНЕРГОАТОМ» поставил вопрос о разработке эффективной методики УЗК на АЭС.

Конструкционные элементы подготовки кромок свариваемых деталей согласно рекомендациям ОП 1513-72 и ПНАЭГ 7-009-89

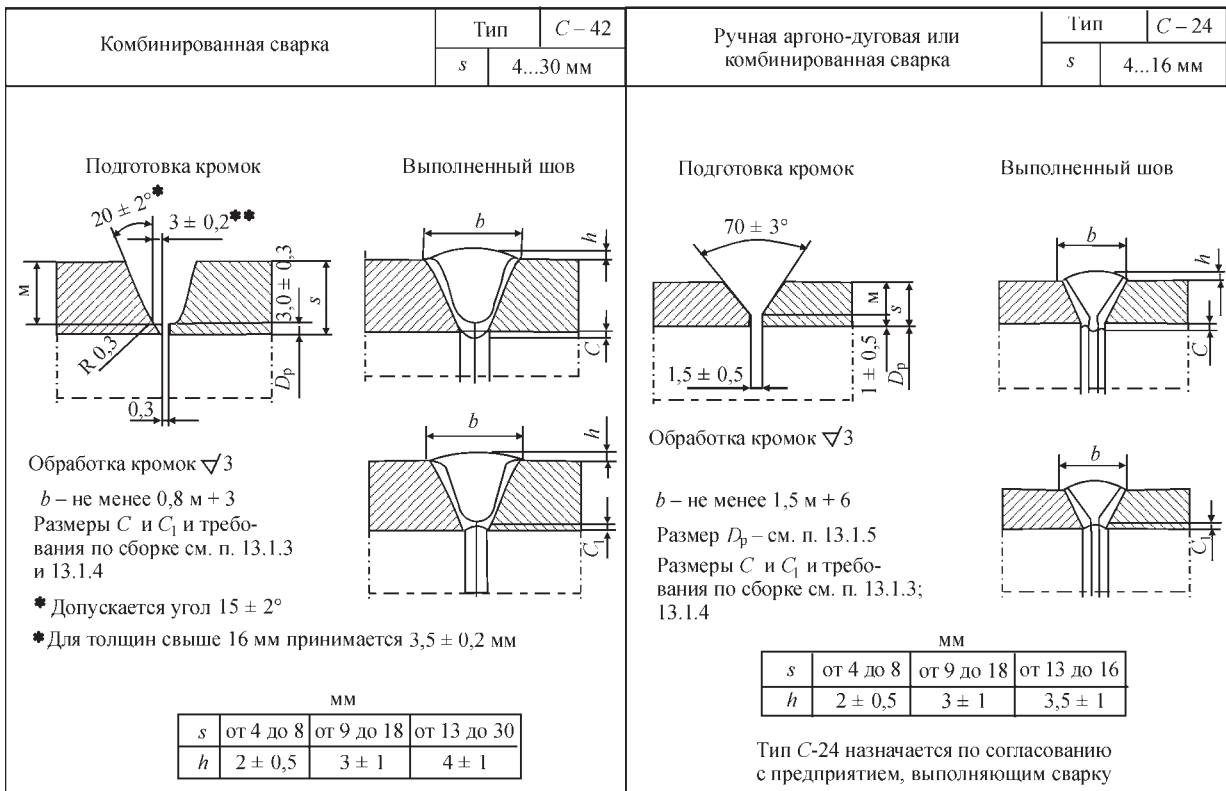


Рис. 5. Конструкции сварных соединений трубопроводов Ду-300 в соответствии с рекомендациями ОП 1513-72 и ПНАЭГ-7-09-89

Исследования и анализ показали, что основные сложности УЗК АСС трубопроводов Ду-300 состоят в следующем:

- высокий уровень радиационного фона, что предполагает высокую производительность и простоту методики УЗК из-за невозможности длительного пребывания контролера на объекте;
- сложная конструкция сварного соединения (рис. 5), включающая проточки различных размеров (по ширине и высоте) и углы её скоса на внутренней поверхности, а также возможные технологические отражатели и дефекты в корне шва (провисания, утяжины, несоосность труб);
- сварное соединение имеет сложную крупнозернистую структуру в ОШЗ и в металле шва, нагружено внутренним давлением, усилиями от самокомпенсации труб и оборудования. Кроме того, в нем присутствуют остаточные сварочные напряжения (рис. 6);
- ширина (валика) усиления установлена в диапазоне 16...20 мм, но встречается и больше. Вблизи усиления могут иметь место технологические утяжины и неровности, образованные при механическом удалении брызг от сварки, которые препятствуют созданию качественного акустического контакта искателя с металлом;
- сварные соединения располагаются в различных пространственных положениях, в стесненных условиях (в особенности на напорных трубопроводах), на различной высоте.

В связи с этим перед разрабатываемой технологией УЗК АСС поставили задачи:

- выявлять кольцевые протяженные (более 10 мм) трещиноподобные несплошности (эксплуатационные трещины) высотой 2 мм и более в сварном шве и ОШЗ;
- не предусматривать выявление технологических (объемных) несплошностей, регламентируемых требованиями «Правил контроля по радиографии».

При выборе способа УЗК руководствовались следующими соображениями. Многочисленные исследования по УЗК сварных соединений из аустенитных сталей показали, что при УЗК попе-

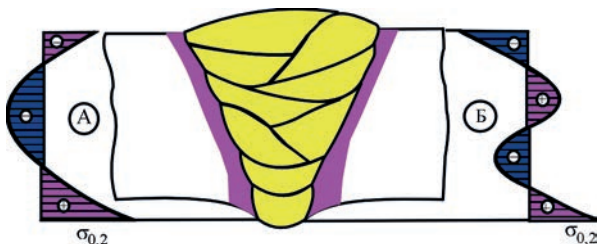


Рис. 6. Схемы распределения остаточных напряжений ( $\sigma_y$ ) в ОШЗ сварных соединений, выполненных в несколько проходов (многослойная сварка): стыковое сварное соединение пластин (А), стыковое сварное соединение трубопровода 325×16 мм из стали 08Х18Н10Т (Б)

речными волнами основным препятствием для его применения является перебраковка, связанная с образованием отраженных сигналов от границ зерен, трансформацией волны на этих границах и образованием ложных сигналов. По форме, характеру и времени распространения эти сигналы практически не отличаются от сигналов от несплошностей и технологических отражателей.

Одновременно и параллельно с нашими исследованиями на АЭС Украины и РФ поступали предложения от стран Западной Европы и США на использование их технологий УЗК поперечными волнами. Похожая «Методика УЗК АСС с толщиной стенки 10...25 мм в процессе монтажа и эксплуатации атомных станций» МТ 34-70-023-86 существовала и в СССР. Она была разработана в 1986 г. в московском ВТИ и предложена специалистами Ровенской АЭС для использования на Чернобыльской АЭС и специалистами ВНИИ АЭС – на Курской АЭС.

Изучение опыта применения этих технологий показало, что они, могут быть применены для контроля сварных соединений оборудования и трубопроводов, выполненных из нестабилизированных аустенитных сталей. Это связано с тем, что их растрескивание происходит на расстоянии 2...7 мм от линии сплавления. При таком расположении трещин, выходящих на внутреннюю поверхность трубопровода, они располагаются в основном металле с мелкозернистой структурой и могут быть выявлены при УЗК через основной металл. При прозвучивании через сварной шов использование поперечных волн не эффективно. То есть такая технология может быть рекомендована только для УЗК сварных соединений аустенитных нестабилизированных сталей с двусторонним доступом к ним – для обеспечения выявления трещин с обеих сторон сварного соединения.

НПО «ЦНИИТМАШ» на протяжении многих лет проводил исследования возможности применения продольных волн, в том числе головных, для выявления дефектов (трещин) в аустенитных наплавках и под антикоррозионными наплавками, которые имеют сложную дендритную структуру наплавленного металла и зон сплавления между слоями наплавки и с перлитным металлом. Были разработаны эффективные методики выявления трещин в наплавках и под наплавками в биметаллических сосудах, трубопроводах и их сварных соединениях: корпусах реакторов ВВЭР-1000, трубопроводах ГЦК Ду-850 и КМПЦ Ду-800 и др. [10], новые нормы по УЗК антикоррозионных наплавки [11, 12]. Впервые были разработаны методики определения толщины аустенитных наплавки и плакировок с помощью УЗК (ПНАЭ Г-7-31-91) [13].

С учетом перечисленных факторов и обнаружением новых закономерностей нами вновь пред-

ложено использовать для УЗК сварных соединений трубопроводов Ду-300 продольные волны головного типа. При этом мы опирались на следующие базовые положения:

- при использовании ГВ они распространяются почти по нормали к преимущественной ориентации трещины в сварном соединении. Как известно, при таком взаимодействии волны и отражателя обеспечиваются наилучшие условия для его выявления;

- ГВ имеют максимальную скорость распространения по сравнению с другими волнами. Это обеспечивает наилучшие возможности для интерпретации сигнала о наличии отражателя и его идентификацию;

- ГВ на одной и той же частоте в сравнении с другими волнами имеют максимальную длину волны. Это обеспечивает возможность получения сравнительно высокого соотношения сигнал-шум от несплошности на фоне от крупнозернистой структуры шва и ОШЗ. Дополнительным фактором, способствующим этому, является то, что колебания волны происходят в направлении её распространения. Эти факторы также являлись предпосылкой для выявления трещин в сварном соединении при наличии одностороннего доступа к сварному шву с помощью прозвучивания через сварной шов;

- до проведения настоящих исследований к негативным факторам мы относили сравнительно

небольшую толщину трубы: 15 или 16 мм, а при наличии проточки 11...12 мм. Считалось, что близость донной поверхности может мешать контролю из-за образования паразитных сигналов в стробируемой зоне контроля. Выше уже отмечено, что в первых методиках УЗК ГВ сосудов, трубопроводов, наплавов с аустенитной структурой рекомендовалось контролировать детали толщиной 30 мм и более, чтобы исключить влияние сигналов поперечных волн, падающих на внутреннюю поверхность под третьим критическим углом.

Важнейшим фактором мы считали правильный выбор конструкции искателя головных волн: «тандем» или «дуэт». С учетом формы и диаметра поверхности трубопровода, ширины контролируемой зоны сварного соединения, возможных неровностей и ям (утяжин) вблизи сварного шва, расположения, ориентации и формы трещин, необходимости прозвучивания в полном объеме всего сварного соединения по толщине (в том числе под усилением шва) и ширине с самого начала мы склонились в пользу схемы «тандем». Были разработаны специализированные искатели ГВ ПГЦ-300. Испытания искателей, последующие результаты исследований и практика контроля и выявления дефектов подтвердили правильность выбора конструкции искателя.

Были проведены дополнительные исследования структуры поля подповерхностной ГВ в кон-

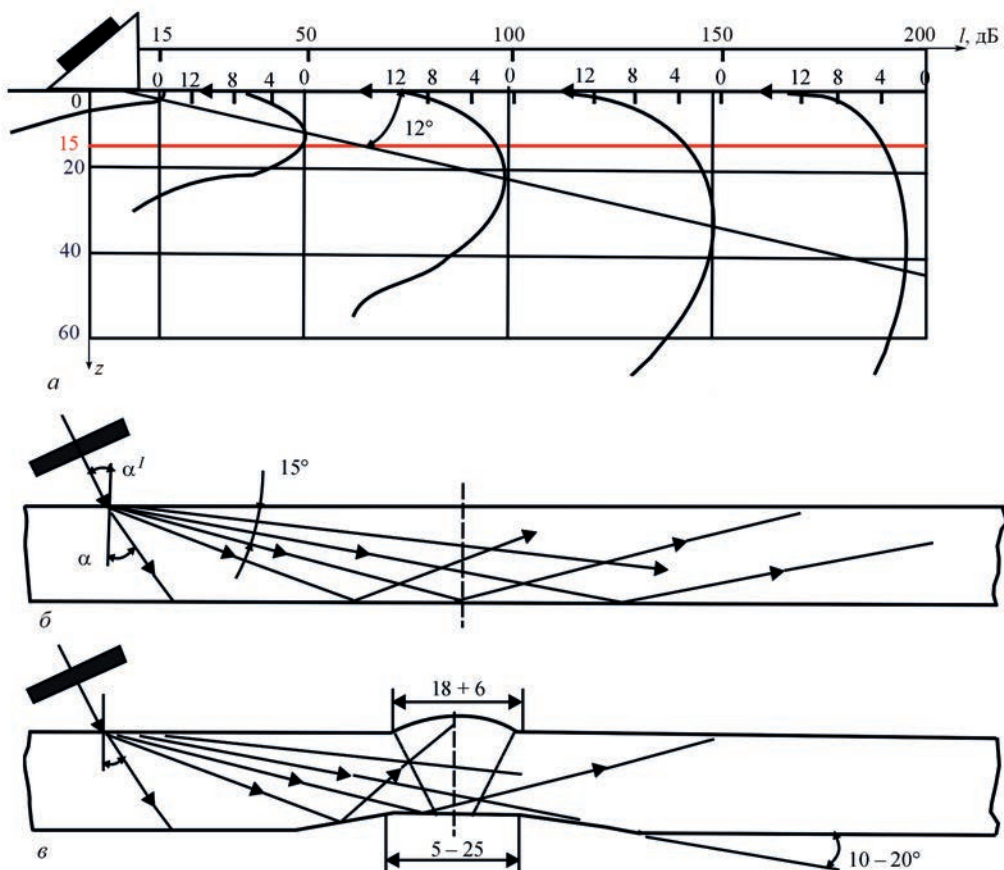


Рис. 7. Структура акустического поля ГВ в полубезграничной среде (а), в листе (б) и в сварном соединении трубопровода (в)

тролируемом металле. На рис. 7 показаны известные закономерности для поля подповерхностной ГВ в полубезграничной среде: луч с максимальной амплитудой как бы отжимается от контактной поверхности, распространяется под углом  $12...15^\circ$  к ней, а амплитуда ГВ достаточно быстро убывает с расстоянием [14].

Исследования на листах толщиной  $8...20$  мм показали, что в них имеет место концентрация акустической энергии подповерхностной волны в ограниченном объеме, в том числе за счет преотражений на донной поверхности при больших углах падения продольных волн (они как бы скользят над донной поверхностью). Было обнаружено, что при расстояниях  $30...40$  мм и более от точки выхода излучателя максимальное значение амплитуды подповерхностной головной волны распространяется вдоль внутренней поверхности и располагается на высоте  $2...5$  мм от донной поверхности. То есть вблизи донной поверхности образуется ультразвуковой поток, распространяющийся параллельно донной поверхности.

Исследование акустического поля на трубах  $325 \times 15$  мм показало наличие закономерностей, полученных на листах. В трубе вблизи донной поверхности также имеет место акустический поток подповерхностной ГВ. Результаты этих исследований и полученные закономерности в значительной мере способствовали разработке технологии УЗК корневых трещин в сварных соединениях Ду-300.

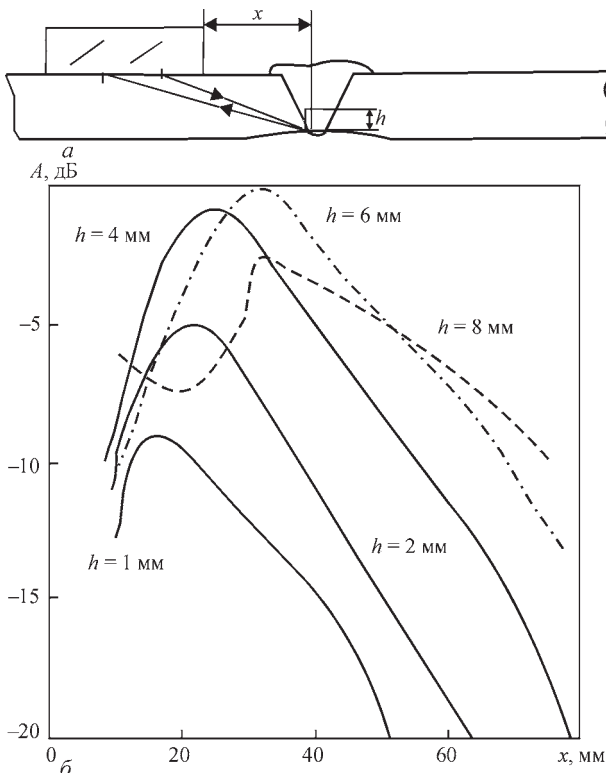


Рис. 8. Схема УЗК (прозвучивание через основной металл) (а) и зависимость амплитуды эхо-сигнала ГВ  $A$  от расстояния между искателем и отражателем  $x$  для различной высоты трещин  $h$  (б)

Исследование возможности выявления трещин в АСС трубопроводов Ду-300 проводилось на специальных образцах со сварным швом и реалистичными имитаторами трещин: вертикальными пазами различной высоты и плоскодонными отверстиями в корне сварных швов. Исследования проводились при прозвучивании сварного соединения:

- с двух сторон от шва;
- при различных расстояниях между сварным швом (имитатором трещины) и искателем;
- при различной высоте трещин.

На рис. 8, 9 представлены схемы прозвучивания и результаты измерений зависимостей амплитуды эхо-сигнала ГВ от трещины различной высоты в функции расстояния между искателем и отражателем. Рис. 8 представляет зависимости при прозвучивании через основной металл, когда трещина расположена со стороны кромки шва, ближней к искателю, а на рис. 9 – при прозвучивании через сварной шов, когда трещина расположена со стороны дальней кромки сварного шва.

Анализ полученных зависимостей показал, что при выявлении корневых трещин высотой 2 мм и более имеется возможность обнаружения трещин с соотношением сигнал-шум 12 дБ и более при прозвучивании как через основной металл, так и через сварной шов.

Дальность обнаружения трещин высотой 2, 4, 6 и 8 мм при измерении на поисковом уровне, рав-

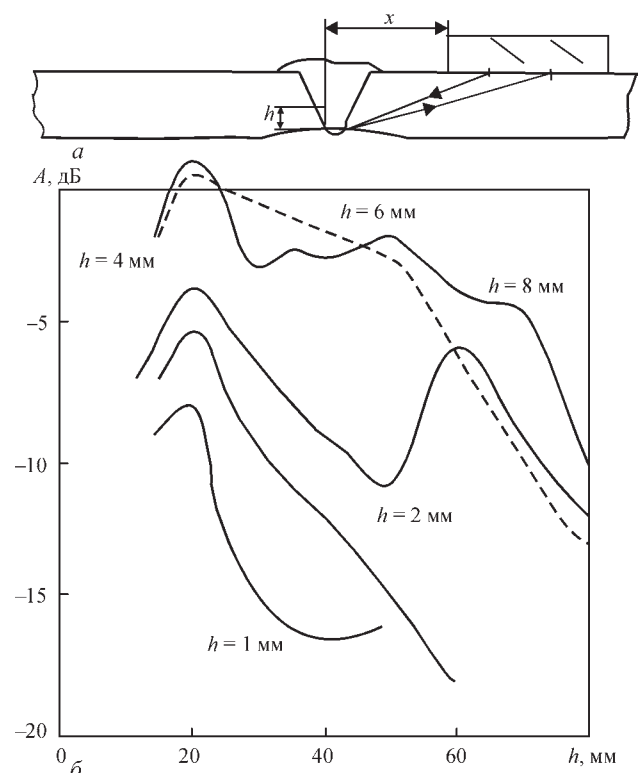


Рис. 9. Схема УЗК (прозвучивание через основной шов) (а) и зависимость амплитуды эхо-сигнала ГВ  $A$  от расстояния между искателем и отражателем  $x$  для различной высоты трещин  $h$  (б)



ном максимальной амплитуде от трещины высотой 2 мм плюс 6 дБ, достигает соответственно 43, 60, 73 и около 80 мм при прозвучивании через основной металл и 23, 30, 60 и 74 мм – при прозвучивании через сварной шов. Несомненно, что при прозвучивании через сварной шов на величину эхо-сигнала влияет ослабление сигнала в сварном шве и на границах зерен, а также переотражение на неровностях в корне шва. Эти же факторы влияют на дальность обнаружения трещин. Наличие дополнительных экстремумов в зависимостях амплитуды от расстояния связано с наличием наклонной проточки и интерференцией импульсов эхо-сигналов, непосредственно отраженных от дефектов и с переотражением от донной поверхности (на скосе).

Важным результатом представляется возможность реализации способа оценки высоты (термин «эквивалентной высоты» предложен нами по аналогии с эквивалентной площадью дефектов) трещины путем измерения дальности обнаружения трещины и сопоставления ее с высотой имитатора трещины в виде прямоугольного паза с известной высотой. На рис. 10 на основе зависимостей, представленных на рис. 8, 9 и экспериментальных данных на трещинах известной высоты изображена связь высоты корневой трещины с дальностью её обнаружения. Эта связь может характеризоваться прямой зависимостью.

Полученные результаты показали, что предложенный способ УЗК позволяет:

- обнаруживать корневые трещины различной высоты в АСС трубопроводов и сосудов, выполненных по технологии, рекомендуемой для АЭС РБМК;
- обнаруживать корневые протяженные (более 10 мм) трещины высотой 1 мм и более;
- использовать при УЗК несколько информативных признаков, а именно:

- амплитуду эхо-сигнала;
- условную протяженность трещины;
- эквивалентную высоту трещины, определяемую через условную ширину отражателя как разницу расстояний между искателем и отражателем при различных уровнях чувствительностях (или при различных амплитудах эхо-сигнала) для оценки высоты корневой трещины.

В процессе исследований возможности УЗК ГВ сварных соединений трубопроводов Ду-300 на образцах была выявлена специфическая особенность данной технологии УЗК. На рис. 11 показаны схема хода лучей в контролируемой трубе, экран дефектоскопа и реальные изображения сигналов от трещины при различных расстояниях искателя от сварного шва. Особенность состоит в том, что наряду с эхо-сигналом подповерхностной ГВ, а он, как мы и предполагали, располагается ближе всех к зондирующему импульсу, имеют место сопровождающие его импульсы других головных, продольных и поперечных волн, которые распространяются по различным траекториям, показанным на рис. 11. Научиться правильно настроить дефектоскоп с искателем на настроечном образце (НО) с имитатором трещины и отличать основной сигнал ГВ от сопровождающих на НО и реальном АСС в трубопроводе, как в последствие оказалось, являлось одной из главных задач контролера УЗК при освоении новой технологии контроля.

При отработке и исследованиях методики на реальных сварных соединениях трубопроводов РБМК проведены сравнительные исследования разработанного способа УЗК с другими способами и методами контроля. Исследования и испытания проводились совместно со специалистами АЭС, конструкторских, научно-исследовательских и других организаций, надзорных органов. Использовались стандартная и нестандартная аппаратура, методики УЗК, внешний осмотр, радиографический контроль (РГК), капиллярный контроль, металлография. Некоторые результаты представлены ниже.

На всех АЭС, где методика предполагалась к использованию, проводились специальные работы по определению эффективности и достоверности методики и в особенности в эффективности выявления реальных трещин МКРПН. Совместно со специалистами Курской АЭС проведено обследование сварного соединения 23М2 водоупускного трубопровода УЗК и металлографией.

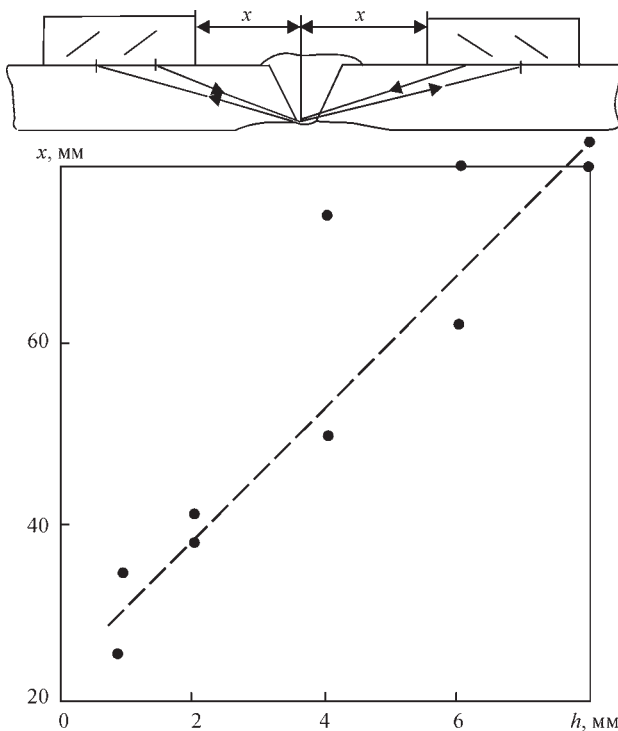


Рис. 10. Зависимость между эквивалентной высотой трещины в АСС  $h$  и максимальной дальностью обнаружения дефекта  $x$  различной высоты при УЗК ГВ

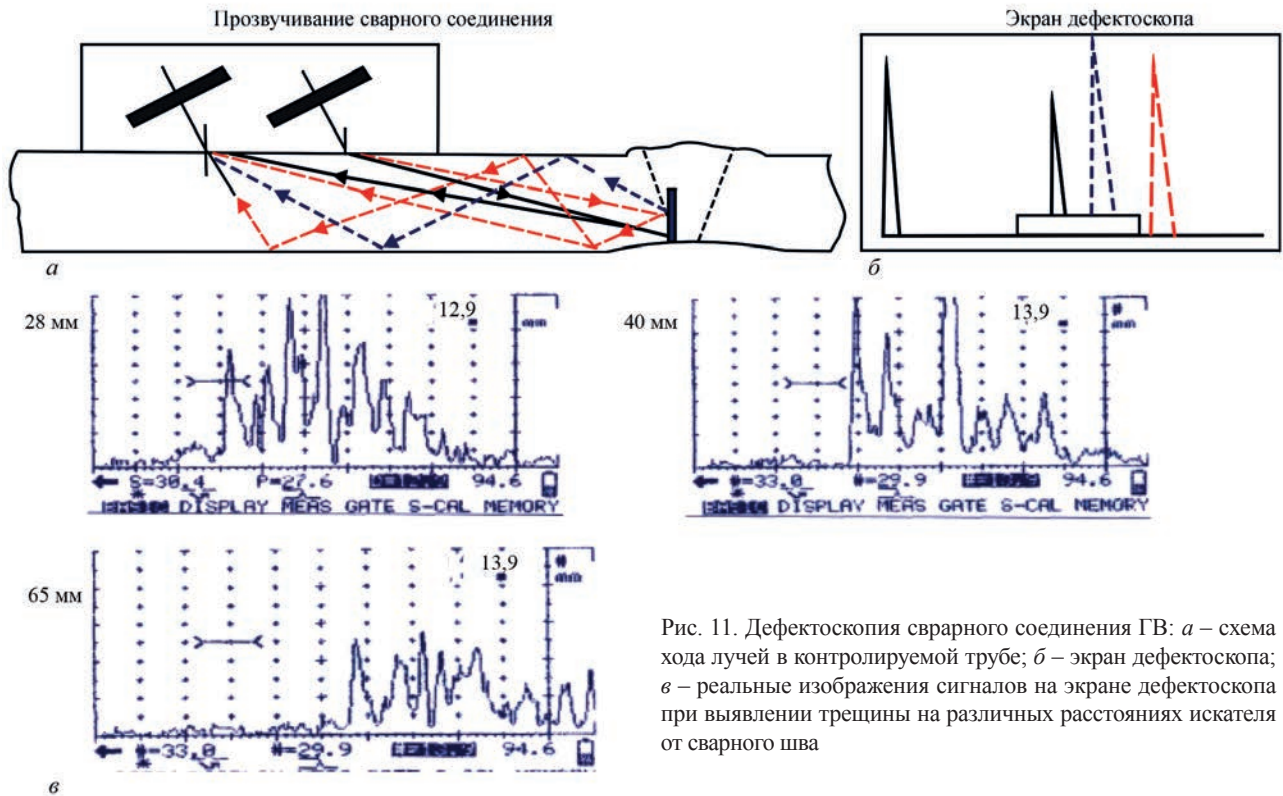


Рис. 11. Дефектоскопия сварного соединения ГВ: а – схема хода лучей в контролируемой трубе; б – экран дефектоскопа; в – реальные изображения сигналов на экране дефектоскопа при выявлении трещины на различных расстояниях искателя от сварного шва

По результатам радиографического контроля сварное соединение 23М2 водоупусного трубопровода было вырезано из трубопровода в виде катушки длиной 500 мм. Исследование сварного соединения производилось с применением разработанного НПО «ЦНИИТМАШ» проекта «Методики УЗК аустенитных сварных соединений трубопроводов 325×15 АЭС с реакторами РБМК» МЦУ-7-96 и методики ВТИ «Методика УЗК АСС с толщиной стенки 10...25 мм в процессе монтажа и эксплуатации атомных станций» МТ 34-70-023-86.

Контроль по методике МТ 34-70-023-86 производился с помощью преобразователей МWB-70N4 с настройкой чувствительности по вертикальному отверстию диаметром 8,4 мм (однажды отраженным лучом). Амплитуда эхо-сигнала соответствовала контрольному уровню чувствительности.

Контроль по проекту методики НПО «ЦНИИТМАШ» проводился с использованием доработанного для УЗК АСС трубопроводов Ду-300 искателя ГВ ИЦ-91. Диапазон контроля и чувствительность определялись по специальному настроечному образцу и устанавливались соответственно по положению на развертке и по амплитуде эхо-сигнала ГВ от имитатора трещины высотой 2 мм.

В процессе контроля определялись максимальная амплитуда сигналов от выявленных отражателей и условная протяженность. Дефектограмма представлена на рис. 12.

Методика МТ-34-70-86 выявила 4 отражателя со следующими характеристиками:

- максимальная амплитуда на 14 дБ превышала контрольный уровень чувствительности, условная протяженность 80 мм;
- максимальная амплитуда на 6...7 дБ превышала контрольный уровень, условная протяженность 40 мм;
- максимальная амплитуда на 6 дБ превышала контрольный уровень, условная протяженность 60 мм;
- максимальная амплитуда на 5 дБ превышала контрольный уровень, условная протяженность 20 мм.

Отражатели I-IV выявлялись только с одной стороны от шва. Участки с отражателями I-IV по МТ-34-70-86 считаются браком.

Способ НПО «ЦНИИТМАШ» УЗК ГВ на поисковом уровне чувствительности зафиксировал отражатель I с максимальным превышением по амплитуде на 6 дБ с одной стороны шва и на 4 дБ с другой стороны шва с условной протяженностью 37 мм. Отражатель II выявлялся в виде отдельного сигнала (без соответствующего сопровождения другими импульсами) с амплитудой на 4 дБ больше браковочного уровня и условной протяженностью 40 мм. Отражатель III давал эхо-сигнал меньше поискового уровня, точечный. Отражатель IV выявлялся как точечный с амплитудой равной поисковому уровню.

Отражатели II-IV наблюдались только с одной стороны шва. Участок 1 по способу НПО «ЦНИИТМАШ» считается браком, участок 2 должен

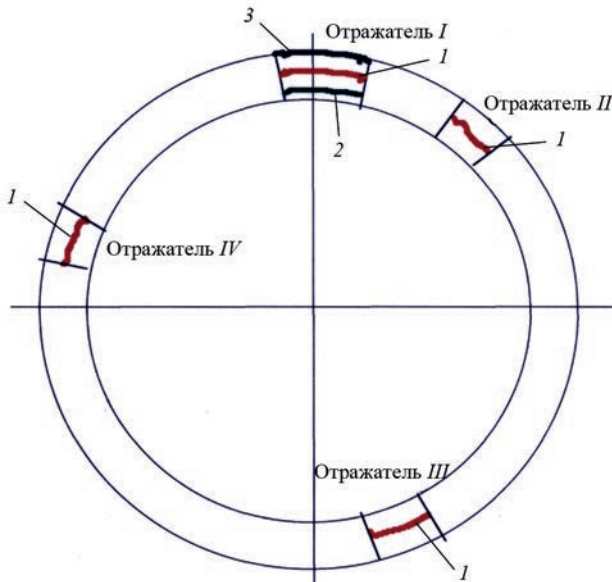


Рис. 12. Дефектограмма НК и металлографии сварного соединения 23М2: 1 – МТ-34-70-023-84 (МWB-70N2,  $d = 8,4$  мм); 2 – МЦУ-7-96 (ПГВ,  $h = 2$  мм, пропилен); 3 – металлография, трещина

быть отмечен как участок с повышенным шумом, участки 3 и 4 не фиксируются.

На поверхности сварного шва были отмечены координаты отражателей, в них намечены сечения для резов и проведено вскрытие фрезерованием. Затем поверхности резов шлифовались, подвергались травлению, рассматривались под микроскопом и фотографировались при наличии несплошностей.

В результате установлено:

- на участке 1 выявлена протяженная несплошность (трещина) высотой 3,1...7 мм в рассмотренных сечениях (рис. 13);

- на участках 2-4 несплошностей не обнаружено.

Анализ результатов УЗК показал:

- возможность ложной отбраковки сварных соединений при использовании методики МТ-34-70-86;

- удовлетворительные результаты контроля при использовании способа и методики НПО «ЦНИИТМАШ».

На основании результатов исследований и апробации способа УЗК ГВ и проекта методики и апробации технологии контроля сварных соединений трубопроводов Ду-300 была разработана «Методика УЗК аустенитных сварных соединений трубопроводов 325×15 мм АЭС с реакторами РБМК» МЦУ-7-97. Испытания и опытное апробирование

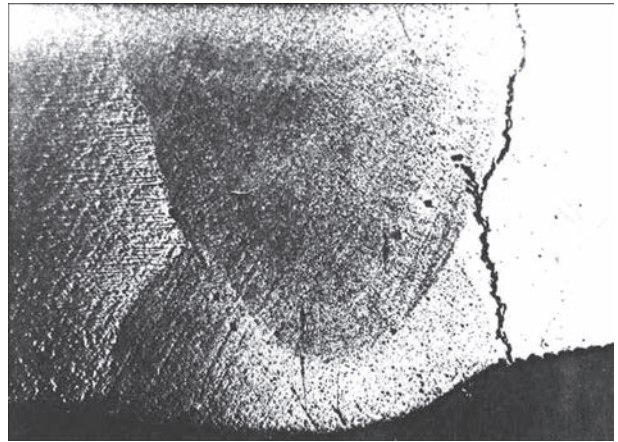


Рис. 13. Несплошность – трещина МКРПН на участке сварного соединения 23М2 с отражателем I

ее на АЭС показали реальные возможности способа в части выявления трещин МКРПН различной протяженности и высоты по сравнению с другими методами неразрушающего контроля. В табл. 1 представлены результаты контроля АСС трубопроводов Ду-300 1-го блока Курской АЭС.

Видно, что методика МЦУ-7-97 позволила оценить реальную дефектность сварных соединений и определить объем сварных соединений для ремонта. Заключение по результатам 100 % УЗК по МЦУ-7-97 сварных соединений явилось основанием для оценки качества трубопроводов Ду-300 и позволило своевременно пустить блок в эксплуатацию.

Аналогичные испытания уже утвержденной методики МЦУ-7-97 до начала ее использования были проведены на Смоленской АЭС. Результаты апробации продемонстрировали эффективность методики и она была принята для использования на АЭС [15].

Наибольшие подготовительные работы перед допуском к применению методики МЦУ-7-97 были проведены на Чернобыльской АЭС.

Для обеспечения нормативного использования новой технологии УЗК АСС трубопроводов Ду-300 на Чернобыльской АЭС АЯР Украины и НАЭК «Энергоатом» предложили проводить работы по двум направлениям:

1. Провести приемочные испытания методики МЦУ-7-97 в соответствии рекомендациями европейского сообщества по неразрушающему контролю ENIQ «Европейская методология по аттестации (второе издание)» 1997 г. [16].

Таблица 1. Результаты исследований АСС трубопроводов Ду-300 1-го блока Курской АЭС

Метод контроля		Количество швов, шт.	Брак, шт.	Примечание
РГК		444 (100 %)	14 – непровары, шлак 5 – трещины 12 – технологические отклонения	Не выявлено трещин с коррозией под напряжением
УЗК	МТ-34-70-023-86	444 (100 %)	222 (50 %) (по амплитуде, протяженности)	Предположили перебраковку при чувствительности $d = 8,4$ мм
	МЦУ-7-96	226	34 ( $1 < 100$ мм)	Ремонт и допуск по техрешению

**Таблиця 2. Сравнительные результаты неразрушающего контроля (РГК и УЗК по МЦУ-7-97) сварных соединений (СС) трубопроводов Ду-300 КМЩ энергоблока №3 Чернобыльской АЭС**

Метод НК	Количество СС, где дефектов не обнаружено, штук	Количество сварных соединений с протяженностью несплошностей					Всего	Суммарная протяженность по всем СС
		50 мм и менее	51...100 мм	101...150 мм	150...200 мм	> 200 мм		
РГК	-	32	11	2	-	-	45	1882
УЗК	6	5	16	8	5	5	39	4945

2. Провести опытный экспертный УЗК по методике МЦУ-7-97 на трубопроводах 3-го блока Чернобыльской АЭС.

В процессе выполнения экспертного УЗК проходила подготовка, обучение и тренинг высококвалифицированных контролеров УЗК, аттестованных по правилам и унифицированным методикам УЗК ПНАЭГ, Чернобыльской и других АЭС Украины. Эти специалисты в дальнейшем принимали участие в работах по аттестации методики и по сплошному УЗК АСС Ду-300 на 3-м блоке Чернобыльской АЭС.

По методике МЦУ-7-97 при экспертном УЗК было проконтролировано 135 сварных соединений опускных трубопроводов и 45 сварных соединений напорных трубопроводов, не имевших замечаний по результатам РГК.

Результаты УЗК:

- из 135-и сварных соединений опускных трубопроводов в 19-и были обнаружены протяженные отражатели;
- из 45-и сварных соединений напорных трубопроводов в 6-и были обнаружены протяженные отражатели;
- выборочные разрушающие испытания темплетов шириной 42...47 мм (долон на разрывной машине), вырезанных на участках расположения по результатам УЗК трещинообразных протяжен-

ных отражателей, подтвердили наличие трещин различной высоты.

Анализ результатов экспертного УЗК по методике МЦУ-7-97 и металлографических исследований показал, что РГК не обеспечивает выявления трещинообразных несплошностей в сварных соединениях трубопроводов Ду300.

В табл. 2 представлены сравнительные результаты неразрушающего контроля (РГК и экспертного УЗК по МЦУ-7-97) сварных соединений трубопроводов Ду-300. Результаты свидетельствуют о том, что, во-первых, при радиографическом контроле возможна значительная перебраковка по количеству дефектных сварных соединений, а во-вторых, возможна недобраковка по протяженности трещин. В последнем столбце табл. 2 показано, что суммарная протяженность трещин по результатам УЗК более чем в два с половиной раза превышает данные по РГК. Сравнительные данные по протяженности хорошо иллюстрируются диаграммами расположения дефектов по периметру сварных швов на рис. 14.

Была разработана «Программа аттестации методики УЗК аустенитных сварных соединений трубопроводов 325×15 мм АЭС с реакторами РБМК» МЦУ-7-97, которая утверждена руководством НАЕК «Энергоатом» и Чернобыльской АЭС и согласована АЯР МЭБУ. Она определила цели и задачи аттестации, требования к аттеста-

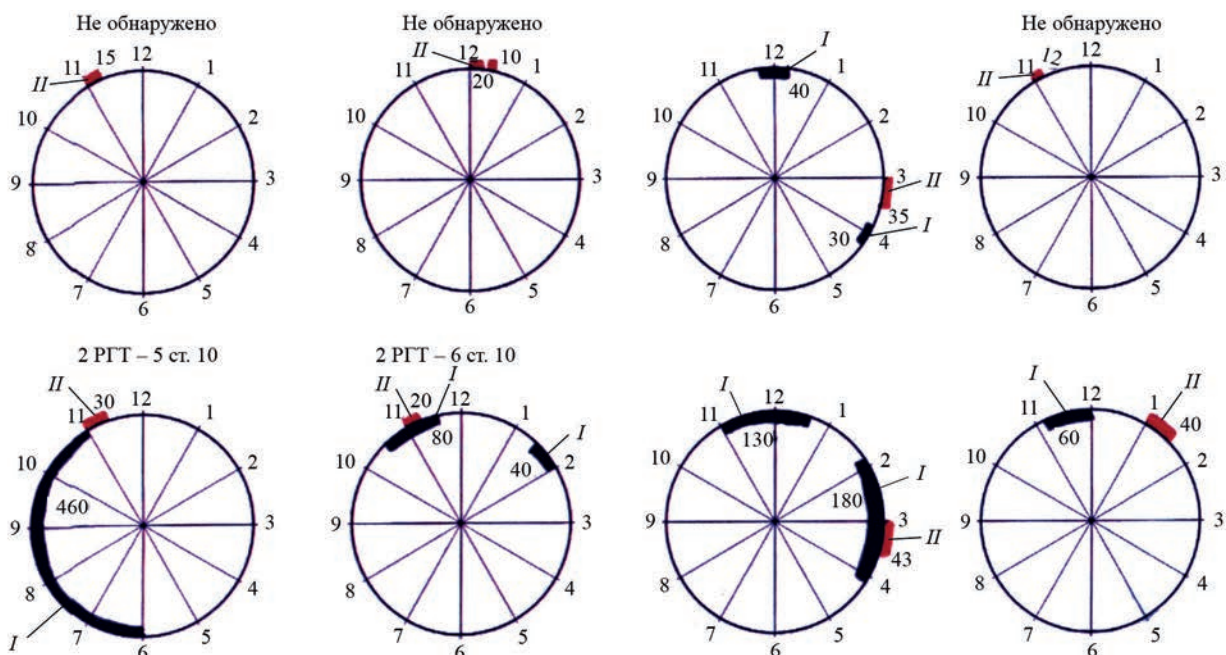


Рис. 14. Диаграммы расположения и протяженность дефектов в сварных соединениях напорного трубопровода по результатам УЗК по МЦУ-7-97 и РГК: I – УЗК, II – РГК

ционной комиссии, требования к тест-образцам, требования к персоналу, этапы аттестации, оценку результатов аттестации. Такая аттестация впервые проводилась в Украине и процедура аттестации предусматривала:

- аттестацию специалистов УЗК, прошедших теоретическое и практическое обучение по методике МЦУ-7-97;

- наличие метрологически поверенного оборудования, в данном случае приборов УД-2-12 (или аналогичных им) совместно со специально разработанными искателями;

- разработку и изготовление специальных тест-образцов с искусственными дефектами для открытых испытаний и выбор тест-образцов для закрытых («слепых») испытаний;

- аттестацию собственно методики.

Этапы аттестации включали:

- анализ методики, выдачу экспертного заключения;

- анализ ранее полученных результатов контроля на АЭС РФ и на Чернобыльской АЭС (экспертных) с применением МЦУ-7-97;

- подготовку тест-образцов с искусственными отражателями (имитаторами трещин);

- выбор двух катушек с реальными трещинами по результатам экспертного УЗК на Чернобыльской АЭС;

- проведение УЗК по МЦУ-7-97 двумя независимыми звеньями на:

- тест-образцах с заранее известными отражателями (открытые испытания);

- двух катушках с эксплуатационными отражателями (слепые испытания);

- подтверждение результатов испытаний методами радиографии и металлографии «слепых» образцов;

- рассмотрение результатов и подготовка Протокола аттестации.

Все этапы работы были выполнены. В частности предприятием «ЭАКС» (Украина) в результате анализа методики было выдано экспертное заключение о том, что «Методика УЗК аустенитных сварных соединений трубопроводов 325×15 АЭС с реакторами РБМК» МЦУ-7-97 может быть рекомендована для использования на Чернобыльской АЭС. Эта методика была введена в перечень НТД, действующей на Чернобыльской АЭС.

Итогом всей работы явилось принятие «Решения о допуске в эксплуатацию трубопроводов из аустенитной стали Ду-300», согласованного в установленном порядке и отвечающего требованиям нормативно-технической документации.

В период 1997–2001 гг. по методике МЦУ-7-97 было проконтролировано ~ 20000

сварных соединений (многие неоднократно) трубопроводов и коллекторов Ду-300. При этом сквозных трещин не обнаружено и не пропущено, что свидетельствует о надежности УЗК по методике МЦУ-7-97. Следует отметить, что есть еще много перспективных вопросов применения этой методики. В частности, методика УЗК ГВ имеет значительный резерв на пути использования сопровождающих импульсов для повышения качества и достоверности контроля, оценки высоты трещин.

### Список литературы

1. (1974) *Методика контроля изделий головными ультразвуковыми волнами*. Москва, ЦНИИТМАШ.
2. Разыграев Н.П., Ермолов И.Н., Щербинский В.Г. (1981) О выявлении подповерхностных дефектов искателями головных волн ИЦ-61, ИЦ-70. *Дефектоскопия*, 3, 97–105.
3. Разыграев Н.П. (2020) Головные волны в ультразвуковой дефектоскопии металлов. *Технічна діагностика та неруйнівний контроль*, 2, 58–70.
4. ПНАЭГ-7-30-91. *Унифицированные методики контроля основных материалов (полуфабрикатов), сварных соединений и наплавки оборудования и трубопроводов АЭУ. Ультразвуковой контроль. Ч. 2. Контроль сварных соединений и наплавки*. Москва, ЦНИИАтоминформ.
5. Зубченко А.С., Харина И.Л., Маханов В.О., Рунов А.Е. (2003) Некоторые аспекты коррозионно-механического повреждения сварных трубопроводов из стали 0Х18Н10Т реакторов типа РБМК. *Заводская лаборатория. Диагностика материалов*, 2, 69, 50–55.
6. Electric Power Research Institute. (1982) *The Growth and Stability of Stress-Corrosion Cracks in Large Diameter BWR Piping*. EPRI-NP-2472-SY. Vol.1, Summary.
7. Wachter, O. (1996) *Experience with austenitic steels type 321 and type 347 in German boiling water reactors*. VGB Kraftwerktechnik 76, 10.
8. Spiedel, M.O., Magdowski R. (1994) Stress corrosion cracking of Ti- and Nb-stabilized austenitic steels in 288 °C water. *Corrosion-94*, 132.
9. Angeliu, T.M., Andresen, P.L., Sutliff, J.A., Horn, R.M. (1999) Intergranular Stress Corrosion Cracking of Unsensitized Stainless Steel in BWR Environments. *Proc. Ninth Int. Symp. on Environmental Degradation of Materials in Nuclear Power Systems – Water reactors*, AIME.
10. Разыграев Н.П. (1984) Ультразвуковой контроль трещинообразования под антикоррозионной аустенитной наплавкой. *Дефектоскопия*, 2, 60–66.
11. Зубченко А.С., Разыграев Н.П., Кретов Е.Ф. и др. (1988) *Актуальные вопросы ультразвукового контроля наплавленных антикоррозионных покрытий*. Москва, Энергомашиностроение, Ч. 1., 10, Ч. 2., 11.
12. Зубченко А.С., Разыграев Н.П., Кретов Е.Ф. и др. (1988) Оценка технологии изготовления и норм качества при ультразвуковом контроле наплавленных антикоррозионных покрытий. Москва, Энергомашиностроение, 12.
13. ПНАЭГ-7-031-91. *Унифицированные методики контроля основных материалов (полуфабрикатов), сварных соединений и наплавки оборудования и трубопроводов АЭУ. Ультразвуковой контроль. Ч. 3. Измерение толщины монометаллов, биметаллов и антикоррозионных покрытий*. Москва, ЦНИИАтоминформ.
14. Разыграев Н.П. и др. (1978) Исследование процесса формирования акустического поля головной волны в контролируемой среде. *Дефектоскопия*, 11, 5.
15. Разыграев Н.П. (2006) УЗК аустенитных сварных соединений трубопроводов Ду-300. *Там же*, 10, 59–71.
16. (1997) «Европейская методология по аттестации (второе издание)» ENIQ. Отчет № 2, EUR 17229 Ru, Генеральный директорат, Объединенный исследовательский центр. ECSC-EEC-EAEC, Brussels-Luxemburg.

Поступила в редакцию 29.01.2021

## В.О. ТРОЇЦЬКОМУ – 85



Редколегія та редакція журналу «Технічна діагностика та неруйнівний контроль» щиро вітають заступника головного редактора журналу доктора технічних наук, професора, заслуженого діяча науки та техніки України, голову Українського товариства НКТД, члена

Міжнародної академії НК Троїцького Володимира Олександровича з ювілеєм!

В.О. Троїцький у 1958 р. закінчив Московський електромеханічний інститут. У 1961 р. він вперше почав використовувати магнітодіелектрики в низькочастотній техніці та захистив за цією тематикою кандидатську дисертацію.

З 1964 р. В.О. Троїцький працює в Інституті електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, з 1976 р. керує відділом «Неруйнівний контроль зварних з'єднань та металоконструкцій» електрозварювання ім. Є.О. Патона. Протягом багатьох років під керівництвом проф. В.О. Троїцьким та за його безпосередньою участю ведеться розробка і впровадження систем рентгенівського, магнітного, ультразвукового, візуального та інших видів неруйнівного контролю на промислових підприємствах, в тому числі на трубопрокатних і машинобудівних заводах.

Професором В.О. Троїцьким створені теоретичні основи намагнічування складних деталей, сформульовані умови, що обмежують можливості магнітних методів з урахуванням розмагнічуючих чинників, геометрії деталей, форм частинок магнітного порошку, можливостей системи для намагнічування. Під його керівництвом впроваджені в різних галузях промисловості ряд магнітних дефектоскопів, серед яких рухомі намагнічуючі пристрої на основі матеріалів з рідкоземельних металів і відповідні технології. Створені комплекси для цифрової миттєвої (флеш) радіографії, які істотно ефективніші за плівкову радіографію, робочі місця рентгенолога для обробки і архівації R-зображень, документування результатів контролю; розроблено технологію діагностики тіл обертання (труб, реакторів і т.п.) без зняття ізоляції за допомогою тангенціального радіаційного просвічування. Створені унікальні методики та прилади для неординарних завдань дефектоскопії, таких, як УЗК поздовжніх і кільцевих швів з роздільною фіксацією дефектів шва і зон термічного впливу, з точним спостереженням за віссю зварних швів; апаратура для УЗК зварних з'єднань арматури, способи для пошарового контролю товстостінних конструкцій, тренажери для підготовки операторів УЗ контролю. Впроваджено пристрої для запам'ятовування і аналізу результатів УЗК, цифрові ульт-

развукові методи TOFD, SAFT для точного визначення розмірів внутрішніх дефектів, засновані на ефекті дифракції хвиль і математичних методів побудови штучних апертур. Розроблено УЗ методики для знаходження дефектів типу матових плям і оксидних плівок, які не мають розкриття (обсягу) і є провісниками майбутніх втомних тріщин в швах контактного та дифузійного зварювання.

Під керівництвом В.О. Троїцького як заступника голови Технічного комітету із стандартизації ТК-78 «Технічна діагностика та неруйнівний контроль» було виконано роботи із розроблення і погодження більше 60 стандартів з проблем неруйнівного контролю і зварювання.

Від дня заснування в 1990 р. професор Троїцький В.О. очолює Українське товариство неруйнівного контролю та технічної діагностики. Він є членом багатьох аналогічних товариств НКТД зарубіжних країн, в тому числі США, Великої Британії, Німеччини, РФ. Він активно працює у Міжнародному комітеті з НК (ICNDT) і в Європейській федерації з НК (EFNDT), бере участь в підготовці фахівців за програмами IAEA (MAGATE), є членом комітету ISO TC135 «Non-Destructive Testing» Міжнародної організації із стандартизації (ISO). Дякуючи його контактам з провідними європейськими фахівцями в галузі НК, УТ НКТД став учасником європейських наукових проектів LRUCM і SHIPINSPECTOR в галузі ультразвукового контролю. У 2008 р. спільно з іншими вченими В.О. Троїцький приймав участь у створенні Міжнародної академії НК (ANDTI), штаб-квартира якої знаходиться в м. Брешія, Італія.

Діяльність проф. В.О. Троїцького відзначена премією Ради міністрів СРСР і Державною премією України в галузі науки і техніки. Впродовж своєї наукової діяльності Троїцький В.О. підготував 14 кандидатів технічних наук, написав 15 книг, в тому числі шість навчальних посібників, підготував 850 друкованих праць.

Проф. В.О. Троїцький багато років є членом редколегії британського журналу INSIGHT, заступником головного редактора журналу «Технічна діагностика та неруйнівний контроль», членом ряду вчених рад, головним редактором інформаційного бюлетеню по неруйнівному контролю «НК - Інформ», заступником редактора міжнародного журналу «Территория NDT», який видається національними товариствами з НК країн Європи та Ізраїлю.

Володимир Олександрович Троїцький все своє життя присвятив науковій діяльності, його праці – безцінний внесок у розвиток науки і техніки нашої країни!

*Щиро бажаємо ювіляру міцного здоров'я, успіхів і благополуччя!*

## КОНФЕРЕНЦІЇ, ВИСТАВКИ, СЕМІНАРИ – 2021

Назва заходу	Дата	Місце проведення
Київська технічна ярмарка	13 – 15 квітня	Київ, Україна
Міжнародна конференція «Sudura 2021/Welding 2021»	22 – 23 квітня	Решіця, Румунія
XIII Міжнародна науково-технічна конференція «Нові матеріали і технології в машинобудуванні–2021»	28 – 29 квітня	КПІ, Київ
Control 2021	4 – 7 травня	Stuttgart/Germany
XXIV Міжнародна спеціалізована виставка «Машинобудування. Металургія»	21 – 23 травня	Запоріжжя, Україна
Міжнародна конференція молодих професіоналів із зварювання та суміжних технологій	25 – 28 травня	Київ, Україна
Міжнародна конференція «Сучасні технології з'єднання матеріалів»	31 травня – 2 червня	ІЕЗ ім. Є.О. Патона, Київ
20 <sup>th</sup> World Conference on NDT (WCNDT 2020)	31 травня – 4 червня	Incheon/Korea
17 <sup>th</sup> Int. Conference on Condition Monitoring and Asset Management (CM 2021)	15 – 17 червня	BINDT London/Great Britain
XXV Міжнародна Пекінська Виставка зварювання та різання	16 – 19 червня	Пекін, Китай
7 <sup>th</sup> US-Japan NDT Symposium	5 – 9 липня	ASNT, JSNDI
XXIII Міжнародна конференція «Матеріали. Методи. Технології.»	19 – 22 серпня	Бургас, Болгарія
II Міжнародна конференція «Неруйнівний контроль та моніторинг технічного стану»	6 – 11 вересня	Одеса, Україна
X Міжнародна конференція «Променеві технології в зварюванні та обробці матеріалів»	6 – 11 вересня	Одеса, Україна
59 <sup>th</sup> Annual Conference of the British Institute of NDT	7 – 9 вересня	Telford/UK
Міжнародна ярмарка «Welding Engineering – Joining, Cutting, Surfacing»	13 – 17 вересня	Ессен, Німеччина
Seminar Wirbelstromprüfung	14 – 15 вересня	Schweinfurt/Germany
2 <sup>nd</sup> European NDT & CM Days in Prague:	4 – 8 жовтня	Prague/ Czech Republic
FCTM-ESOP Symposium	6 – 7 жовтня	Paris/France
APCNDT 16 <sup>th</sup> Asia Pacific Conference for NDT	18 – 22 жовтня	Melbourne/Australia
Міжнародна виставка зварювального устаткування і технологій	19–21 жовтня	Кельце, Польща
Workshop on structural integrity, NDT and CM requirements for Industry 4.0	19 – 20 жовтня	BINDT Coventry/UK
Міжнародна виставка зварювання, зварювального обладнання та технологій	27 – 28 жовтня	Гданьск, Польща
Міжнародна виставка промислових технологій	27 – 28 жовтня	Гданьск, Польща
Seminar des FA Ultraschallprüfung – Konventionelle und innovative Anwendungen der Ultraschallprüfverfahren	10 – 11 листопада	DGZfP Berlin
ASNT Annual Conference	15 – 18 листопада	ASNT Phoenix/USA
XX Промисловий форум	16 – 19 листопада	Київ, Україна
Malaysia International NDT Conference and Exhibition 2020 (6 <sup>th</sup> MINDTCE)	7 – 8 грудня	Malaysian Society for NDT

## ДАТИ, ПОДІЇ, ФАКТИ З ІСТОРІЇ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ\*

**У січні** 1987 р. в журналі «Вісник Академії наук Української РСР» було опубліковано статтю академіка Б.Є. Патона «Неруйнівний контроль і надійність технічних об'єктів». Уперше на такому високому рівні в Україні було визнано велике значення неруйнівного контролю в надійності техніки. В статті аналізуються дослідження та розробки в цій галузі та поставлені завдання на майбутнє.



**У січні** 1965 р. у видавництві «Наука» Академії наук СРСР вийшов перший номер журналу «Дефектоскопія» – популярний науковий журнал. Англomовна версія журналу – «Russian Journal of Nondestructive Testing». Видавець – Інститут фізики металів (м. Єкатеринбург) Уральського наукового центру АН СРСР. Першим головним редактором був проф. Р.І. Янус. Періодичність – 6 номерів на рік. Журнал видається до теперішнього часу.



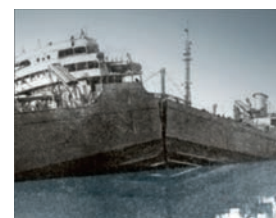
**У січні** 1999 р. почав видаватись інформаційний бюлетень Українського товариства НКТД «НК-інформ» (4 номери в рік). Відповідальним редактором перших номерів бюлетеня був Олександр Козін. В наступні роки в виданні бюлетеня брали участь Андрій Шекеро, Тетяна Корольова, Лариса Мартинова. Бюлетень видається до теперішнього часу.



**9 січня** 1949 р. народився Олег Карпаш, професор, доктор технічних наук, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, проректор з наукової роботи Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, завідувач кафедри технічного діагностування трубопроводів, засновник НВФ «Зонд».



**16 січня** 1943 р. після успішних морських випробувань при поверненні на базу тріснув навіпіл танкер «Скенектаді» водотоннажністю 7230 т. Тріщина з'явилася в куті люка на палубі, пройшла через палубу і по обох бортах до кіля. Незважаючи на війну, ця подія набула широкого розголосу в пресі і послужила в свою чергу стимулом для розвитку наукових досліджень в галузі зварювання та технічного контролю в суднобудуванні.



**21 січня** 1942 р. виготовлено перший танк Т-34, корпус якого вперше виконаний із застосуванням автоматичного зварювання. Технологію зварювання було розроблено фахівцями Інституту електрозварювання. Продуктивність автоматичного зварювання виявилася в 10 разів вищою за ручне. У повоєнні роки в Інституті продовжувались розробки в галузі автоматичного зварювання та його ультразвукового контролю.



\* Матеріал підготував Посипайко Ю.М.

Редакція журналу буде вдячна читачам за доповнення до дат, подій та фактів з НК

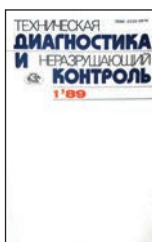




**25 січня** 2004 р. на Марсі здійснив посадку перший марсохід «Opportunity», доставлений ракетою-носієм «Дельта II». Ця модель ракети була першою, при виробництві якої застосували зварювання тертям з перемішуванням. Були застосовані різні способи радіаційного, вихрострумового, капілярного, оптичного та ін. контролю.



**27 січня** 1983 р. закінчено проходку найдовшого підводного тунелю Сейкан, що з'єднує японські острови Хонсю і Хоккайдо. Остаточна довжина цього залізничного тунелю склала 53,9 км, в тому числі підводна частина – 23,3 км. Тунель опускається на 100 м нижче рівня морського дна. Рейки не мають болтових з'єднань, вони зварені в єдину 54-кілометрову колію. Мабуть це найдовше зварне залізничне полотно в світі. Під час будівництва та щодня під час експлуатації виконується ультразвуковий та магнітний контроль рейок за допомогою вагонів-дефектоскопів.



**У лютому** 1989 р. вийшов перший номер журналу «Технічна діагностика і неруйнівний контроль» - науковий журнал НАН України. Головний редактор – академік Б.Є. Патон. Номер відкривається статтею Б.Є. Патона і А.Я. Недосеки «До питання прогнозування залишкового ресурсу зварних конструкцій». Журнал видається до цього часу (4 номери на рік).



**У лютому** 2016 р. вперше на Українській антарктичній станції «Академік Вернадський» виконані роботи з дефектоскопії. Проведено технічне діагностування металоконструкцій резервуарів для зберігання нафтопродуктів об'ємом 200 куб. м.



**У лютому** 2021 р. на новий термін було підписано двосторонню угоду про професійне співробітництво між УТ НКТД і Американським товариством з неруйнівного контролю (ASNT). Угода встановлює загальні принципи, яких обидві організації пропонують дотримуватися, співпрацюючи в обміні інформацією та знаннями у галузі НК. Варто сказати, що співпраця між УТ НКТД и ASNT продовжується вже понад 20 років.



**2 лютого** 1928 р. проф. С.Я. Соколов (1897–1957) подав заявку на патент «Спосіб випробування металів». Так розпочалось застосування високочастотних акустичних хвиль ультразвукового діапазону для неруйнівного контролю металу.



**2 лютого** 1934 р. прийнято постанову Всеукраїнської академії наук (ВУАН) про створення на базі електрозварювального комітету і електрозварювальних лабораторій ВУАН науково-дослідного Інституту електрозварювання. Директором призначено Євгена Оскаровича Патона (1870–1953).



**18 лютого** 1914 р. народився В.В. Підгаєцький (1914–1991) – відомий вчений, заслужений діяч науки і техніки України. Він вніс фундаментальний внесок в металургію зварювання, зокрема, у вивчення взаємодії металу, шлаку і газів, причин утворення пор, тріщин і інших дефектів в швах. Опублікував 215 наукових праць, в тому числі 23 монографії.

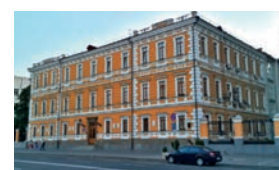
**20 лютого** 1986 р. в СРСР проведено запуск орбітальної наукової станції «Мир», що прийшла на зміну орбітальних станцій «Салют» і стала на півтора десятка років єдиною в світі пілотованою космічною лабораторією для довготривалих науково-технічних експериментів і дослідження людського організму в космосі. В подальшому на станції були проведені дослідження із зварювання і наплення в космосі. При виготовленні конструкцій станції застосовано великий обсяг неруйнівного контролю.



**21 лютого** 1936 р. народився В.О. Троїцький, відомий вчений, професор, доктор технічних наук, заслужений діяч науки і техніки України, лауреат Державної премії в області науки і техніки, член Міжнародної академії неруйнівного контролю (м. Брешія, Італія), голова Українського товариства неруйнівного контролю і технічної діагностики, керівник відділу неруйнівного контролю Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона.



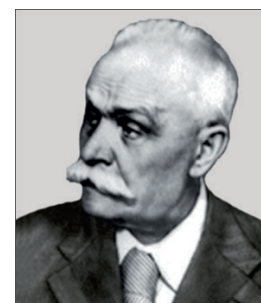
**28 лютого** 1962 р. на загальних зборах АН УРСР обраний новий склад Президії. Президентом став академік АН УРСР Борис Євгенович Патон. Сьогодні НАН України включає 160 інститутів. Чисельність співробітників становить понад 28 тис.



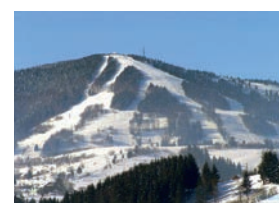
**2 березня** 1927 р. почалося будівництво нафтопроводу Грозний-Туапсе. Це був перший великий магістральний нафтопровід з труб середнього діаметру. Будівництво велось з 1927-28 рр. Для з'єднання труб вперше було застосоване електродугове зварювання. Під час спорудження нафтогону при зварюванні труб вперше застосовувалась дефектоскопія.



**5 березня** 1870 р. народився Євген Оскарович Патон (1870–1953) – видатний учений в області мостобудування і електрозварювання, засновник широко відомої в світі патонівської науково-інженерної школи, Герой Соціалістичної Праці, лауреат Сталінської премії, засновник Інституту електрозварювання, який з 1953 р. носить його ім'я. Його діяльність в галузі в мостобудування, будівельної механіки, електрозварювання і електрометалургії назавжди залишиться в історії світової науки і техніки.



**5-9 березня** 1996 р. в сел. Славське Львівської області відбулась перша науково-технічна конференція «Фізичні методи та засоби контролю матеріалів та виробів». Організатором і модератором конференції був В.М. Учанін. Такі конференції в Славському проводились щорічно до 2012 р.

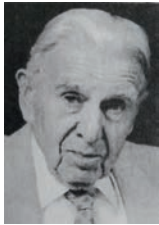


**7 березня** 2003 р. у видавництві «Машинобудування» розпочався випуск 8-ми томного видання «Неруйнівний контроль. Довідник» під загальною редакцією В. Ключова. Його авторами є провідні вчені РФ. Це найбільш повне зібрання, що охоплює всі види неруйнівного контролю (загальна кількість сторінок – більше 4000).





**16 березня** 1942 р. відбувся перший запуск ракети «Фау-2», яка стала першою в історії ракетою, що здійснила суборбітальний космічний політ. Ракети виготовлялись в Німеччині в роки другої світової війни в умовах дефіциту стратегічної сировини. Тому у виробництві застосовувалась велика кількість дешевих замінників, в тім числі багато деталей зі сталі. В наступні роки розвиток ракетобудування в багатьох країнах спричинив бурхливе зростання досліджень та розробок нових матеріалів, технологій машинобудування і неруйнівного контролю.



**20 березня** 1908 р. в Магдебурзі (Німеччина) народився Фрідріх Форстер (помер в 1999 р.) – піонер неруйнівного контролю, видатний вчений-винахідник, автор більше 180 патентів. Заснований ним «Інститут Доктора Форстера» в Ротлінгені став першим в світі з досліджень та розробок в галузі вихрострумового та магнітного контролю.



**21 березня** 1800 р. італійський вчений Алесандро Вольта (1745-1827) поінформував Королівське товариство в Лондоні про створення ним нового джерела енергії. А. Вольта розмістив в банці з кислотою дві пластинки – цинкову і мідну, з'єднав їх дротом і показав, що по дроту протікає електричний струм. Так був винайдений «елемент Вольты» – перший гальванічний елемент, прообраз майбутніх акумуляторів.



**27 березня** 1968 р. шляхом злиття ряду організацій був створений Британський інститут зварювання (TWI). Він працює для всіх галузей промисловості, пропонуючи навчання та експертизу з неруйнівного контролю, зварювання та інспекції по всьому світу. Чисельність співробітників – понад 900 чол. Інститут співпрацює із зварювальними та інспекційними організаціями понад 80-ти країн світу.



**28 березня** 1945 р. створений польський Інститут зварювання в м. Глівіце. Він є важливим науково-дослідним центром в Польщі, який проводить роботи з розвитку і впровадженню зварювальних технологій. Кількість працівників – понад 200 чол. Важливим напрямком діяльності інституту є підготовка кадрів в галузі зварювання та неруйнівного контролю. Інститут видає науково-технічний журнал «Biuletyn Instytutu Spawalnictwa».



**30 березня** 1929 р. Ірвінг Ленгмюр (1881-1957) назвав плазмою іонізований газ в газорозрядній трубці. При вивченні електричного розряду в трубці з розрідженим повітрям і було відкрито матерію, яка стала четвертим станом речовини. Лауреат Нобелівської премії з хімії (1932) за дослідження в області хімії поверхневих явищ.



**31 березня** 1948 р. з ініціативи академіка Є.О. Патона було засновано науково-технічний і виробничий журнал «Автоматичне зварювання» (перші два роки – збірка «Праці з автоматичного зварювання під флюсом»). За широтою охоплення і глибиною освітлення опублікованих матеріалів журналу за 73 роки випуску його можна називати зварювальною енциклопедією. Він допоміг становленню вже декількох поколінь учених-зварників.