

## РЕНТГЕНТЕЛЕВІЗІЙНИЙ КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ЗВАРЮВАННЯ ПОЛІЕТИЛЕНОВИХ ТРУБ

М.М. Карманов, С.Р. Михайлов, Р.О. Пастовенський, В.Ю. Глухівський, Є.О. Буйнова

ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: krm.paton@ukr.net

Розглянуто новий підхід до контролю зварних швів поліетиленових труб за допомогою рентгентелевізійного методу. Проведено дослідження щодо застосування рентгентелевізійного контролю для виявлення можливих дефектів у зварному шві, а також матеріалографічні дослідження зразків, що підтверджують результати, отримані за допомогою рентгентелевізійного контролю. Бібліогр. 9, рис. 6.

*Ключові слова:* рентгентелевізійний неруйнівний контроль, поліетиленові труби, цифрове рентгенівське зображення, рентгенівський сенсор

Поліетиленові трубопроводи все більш широко використовуються в системах газо- та водопостачання, опалення, каналізації, технологічних процесах промислових підприємств. За областю застосування пластмасові трубопроводи, як і трубопроводи з інших матеріалів, поділяються на використовувані для зовнішніх і внутрішніх мереж. У газопостачанні в цілях безпеки поліетиленові труби використовуються тільки в зовнішніх підземних газопроводах низького тиску.

Поліетиленові труби перевершують сталеві та чавунні за такими показниками якості, як надійність, довговічність, стійкість до зношування, хімічна стійкість, не піддаються корозії, в кілька разів легші за сталеві. Для таких трубопроводів зварювання встик простіше та швидше, не вимагає додаткових витратних матеріалів, вони легко утилізуються, на гладких внутрішніх стінках практично не утворюється відкладень. Такі труби значно дешевші аналогічних сталевих. Матеріал хімічно нейтральний, не впливає на смак транспортних рідин, які вживаються в їжу [1].

Є й недоліки. Їх небагато, але вони істотні: поліетилен горить з виділенням шкідливих речовин;

слабка стійкість до ультрафіолету, яка викликає ламкість труб; жорсткі температурні обмеження.

Поліетиленові труби діаметром до 160 мм можуть з'єднуватися за допомогою спеціальних фітингів. Великі діаметри зварюються спеціальним апаратом. Найбільш поширені стикові зварювання, зварювання в розтруб та терморезисторне зварювання [2].

У технологіях зварювання пластмас і в створенні відповідного обладнання за останні роки досягнуто значних успіхів. Однак контроль якості зварних з'єднань виробів з пластмас все ще пов'язаний з певними труднощами, які залежать від способу і технології зварювання, виду зварної конструкції, від властивостей полімерного матеріалу та його побудови. Тому останнім часом все більше уваги приділяється підвищенню ефективності контролю якості зварних з'єднань полімерних матеріалів під впливом механічних навантажень, високих і низьких температур, поверхнево-активних речовин, світла і радіації [3].

Уявлення про стан справ в цій галузі дає відповідна нормативна документація. Перелік небезпечних дефектів в зварних з'єднаннях поліетиленових труб в РФ регламентується інструкцією



Рис. 1. Зразки поліетиленової труби (а), здуття труби після гідравлічних випробувань (б), пори в зварному шві (в)

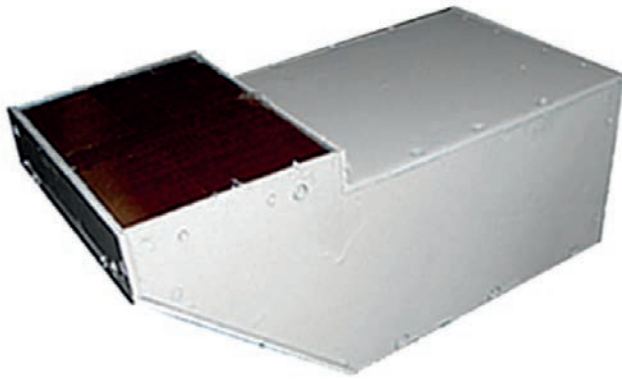


Рис. 2. Зовнішній вигляд установки РТВ-4



Рис. 3. Просвічування на рентген-апараті РАП 150/300

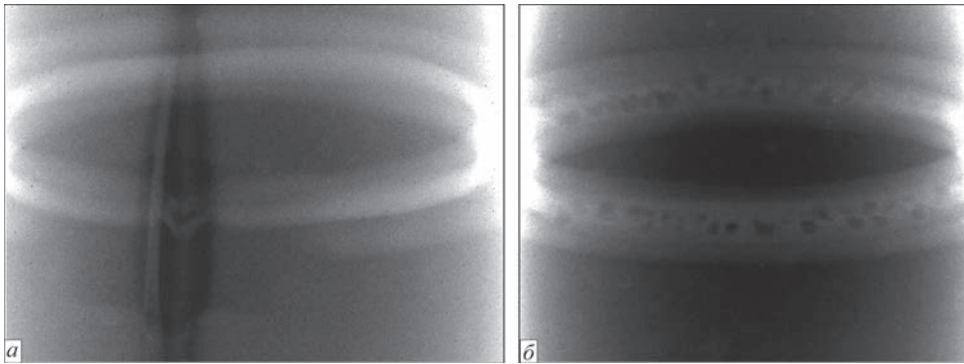


Рис. 4. Результати контролю зразків поліетиленової труби: *а* – виявлено здуття труби, *б* – пори по всьому кільцевому шву

[4]. Однак в серед неруйнівних методів контролю вказані тільки візуальний контроль і контроль герметичності, які не дозволяють виявити внутрішні дефекти зварного з'єднання. Ультразвуковий контроль передбачений тільки для газопроводів з поліетиленових труб [5].

В ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України раніше були виконані дослідження методів термографічного контролю якості зварних з'єднань поліетиленових труб з поліетилену марки ПЕ 80 [6]. Проте в даній роботі представлені результати досліджень радіоскопічних методів контролю якості зварювання зразків поліетиленових труб довжиною 310 мм, діаметром 110×11 мм, зварений шов шириною 11 мм, висотою 3...3,5 мм (рис. 1).

Стикове зварювання виконане установкою Widos-Polypress 4600. Параметри зварювання встановлювали відповідно до чинної нормативно-технічної документації [7]. Температура нагрівального елемента 208...215 °С, час нагрівання торців труб 60 с, технологічна пауза перед стисненням 3...4 с. Тиск зварювання 0,2 МПа, час охолодження 10 хв.

На рис. 1 наведено зразки поліетиленової труби (*а*), здуття труби після гідравлічних випробувань (*б*), пори в звареному шві (*в*). Дефекти: пори діаметром 0,5...3 мм, глибиною 0,5...1,5 мм (вимірювались на шліфах зварного з'єднання).

На відміну від сталевих труб, рентгенівський контроль поліетиленових труб в даний час не регламентується нормативною документацією. Тут не передбачені еталони чутливості. Тому для визначення

чутливості контролю використовувався два окремих зразка поліетиленової труби з внутрішніми дефектами (пори) і аналогічний зразок зі шліфом. Це дозволяє зіставити реальні розміри виявлених дефектів з результатами рентгенівського контролю.

Радіоскопічні (рентгентелевізійні) дослідження зразків показали в них наявність пористості.

Для рентгенівського контролю якості зварних з'єднань поліетиленових труб використовувалась розроблена в ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України портативна рентгентелевізійна установка для контролю зварних з'єднань РТВ-04 (рис. 2) з розміром робочого поля 110×80 мм, розміри рентгентелевізійної установки 225×125×110 мм [8].

Установка виконана за схемою «рентгенівський екран-оптика-ПЗС (КМОП)». В якості рентгенівського екрану в системі застосовується ефективний гадолінієвий екран  $Gd_2O_2S$ : Тб з товщиною люмінофорного шару 200 мкм і роздільною здатністю 5,5 пар ліній на мм.



Рис. 5. Зовнішній вигляд твердотільного сенсора S10811-11

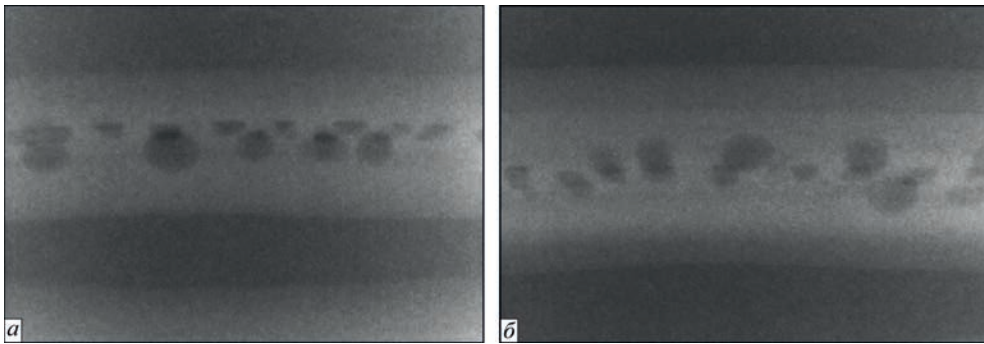


Рис. 6. Результати контролю: зразка поліетиленової труби на шліфі (а); на кільцевому шві (б)

В телевізійній камері установки застосований новий високочутливий 1/3-дюймовий CMOS-сенсор MT9M034 фірми «ON Semiconductor». Кількість ефективних пікселів за горизонталлю та вертикаллю 1392×1040. Установка підключається до ноутбуку за допомогою USB-кабелю, через який на неї подається електроживлення та здійснюється управління режимами її роботи за допомогою спеціального програмного забезпечення.

Просвічування виконувалось крізь дві стінки з отриманням подвійного зображення за схемою «еліпс» (рис. 3).

На рис. 4 наведено приклади цифрових рентгеновських зображень, отриманих під час контролю зазначених зразків поліетиленових труб рентгеновським апаратом РАП 150/300. Фокусна відстань становила 770 мм, а час експозиції – 10 с. Анодна напруга та анодний струм рентгеновської трубки становили відповідно 30 кВ та 10 мА. На рис. 4, б видно пори уздовж кільцевого зварного шва.

Для рентгеноскопічного контролю зразків труб використовувався також високочутливий малоформатний рентгеновський сенсор S10811-11 (рис. 5) японської фірми «Hamamatsu Photonic» [9]. Робоча область сенсора 34×24 мкм; роздільна здатність 1700×1200 пікселів (25 пар лн./мм); розміри сенсора 42,5×30×13 мм. Управління сенсором виконується комп'ютером з використанням модулю обробки сигналів С9266-04 крізь порт USB 2.0.

Застосування твердотільного детектора S10811-11 з високою роздільною здатністю дозволяє отримувати 10...20-ти кратне збільшення розмірів контрольованого фрагмента зображення на екрані ноутбука без втрати якості. На рис. 6 наведені цифрові зображення, отримані за допомогою сенсора S10811-11. Анодна напруга – 30 кВ, струм – 10 мА, фокусна відстань – 840 мм, час накопичення – 10 сек. Мінімальний розмір виявленого дефекту – 2 мм (2 % від подвійної товщини стінки труби). Реальний розмір дефекту вимірювався по шліфу.

## Висновки

Застосування рентгеновських методів неруйнівного контролю при зварюванні полімерних труб можна використовувати для виявлення дефектів, викликаних відхиленнями в роботі обладнання або недотримання технології.

Розробка технології рентгеновського контролю для зварювання поліетиленових труб є перспективним напрямком, який допоможе підвищити якість зварювання та зменшити відсоток браку при зварюванні.

## Список літератури

1. Полиэтиленовые трубы: маркировка, диаметры, характеристики, применение. <https://stroychik.ru/strojmaterialy-i-tehnologii/polietilenovye-truby>
2. Зайцев К.И., Мацюк Л.Н. (1987) *Сварка пластмасс*. Москва, Машиностроение.
3. Каган Д.Ф. (1980) *Трубопроводы из пластмасс*. Москва, Химия.
4. ОСН АПК 2.10.06.001-04. *Инструкция по монтажу пластмассовых трубопроводов на объектах АПК России*.
5. СП 42-103-2003. *Проектирование и строительство газопроводов из полиэтиленовых труб и реконструкция изношенных газопроводов. Свод правил от 26 ноября 2003 г.*
6. Глуховский В.Ю., Костенко А.В. (2010) Применение тепловизионного контроля при сварке полиэтиленовых труб. *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*, **1**, 54–57.
7. РСН 358-91 *Сварка полиэтиленовых труб при строительстве газопроводов*.
8. Троицкий В.А., Михайлов С.Р., Бухенский В.Н., Пастовенский Р.О. (2019) Портативная рентгентелевизионная установка для контроля сварных соединений труб малого диаметра. *Збірка доповідей 9-ї Національної науково-технічної конференції «Неруйнівний контроль та технічна діагностика»*. Київ, УТ НКТД, 197–198.
9. Троицкий В.А. (2017) Радиационный контроль на основе твердотельных детекторов. *Территория NDT*, **1**, 30–34.

## References

1. Polyethylene pipes: marking, diameters, characteristics, application [in Russian]. <https://stroychik.ru/strojmaterialy-i-tehnologii/polietilenovye-truby>.
2. Zajtsev, K.I., Matsyuk, L.N. (1987) *Welding of plastics*. Moscow: *Mashinostroenie* [in Russian].
3. Kagan, D.F. (1980) *Plastic pipelines*. Moscow, *Khimiya* [in Russian].
4. OSN APK 2.10.06.001-04. *Instruction on mounting of plastic pipelines on facilities of Russian agroindustrial complex* [in Russian].
5. SP 42-103-2003: *Design and construction of gas pipelines of polyethylene pipes and reconstruction of worm gas pipelines. Set of rules of 26 November 2003* [in Russian].
6. Glukhovskiy, V.Yu., Kostenko A.V. (2010) Application of heat monitoring in welding polyethylene pipes. *Tekh. Diagnost. i Nerazrush. Kontrol*, **1**, 54–57 [in Russian].
7. RSN 358-91: *Welding of polyethylene pipes in construction of gas pipelines* [in Russian].
8. Troitskiy, V.A., Mikhailov, S.R., Bukhenskiy, V.N., Pastovenskiy, R.O. (2019) Portable X-ray TV unit for monitoring of welded joints of small diameter pipes. *In: Proc. of 9th National Sci.-Tekh. Conf. on Nondestructive Testing and Technical Diagnostics*. Kyiv, UK NKTD, 197–198 [in Russian].
9. Troitskiy, V.A. (2017) Radiation monitoring based on solid-state detectors. *Territoriya NDT*, **1**, 30–34 [in Russian].

## X-RAY TV INSPECTION OF THE QUALITY OF WELDING POLYETHYLENE PIPES

M.M. Karmanov, S.R. Mikhailov, R.O. Pastovenksyi, V.Yu. Glukhivskiy, E.O. Bujnova

E.O. Paton Electric Welding Institute of NASU. 11 Kazymyr Malevych Str., 03150 Kyiv, Ukraine. E-mail: krm.paton@ukr.net

A new approach to monitoring polyethylene pipe welds using X-Ray TV inspection is considered. A study was performed as regards application of X-Ray TV inspection to detect possible defects in the weld, as well as metallographic investigations of the samples, which confirm the X-Ray TV inspection results. 9 Ref., 6 Fig.

*Keywords: X-Ray TV nondestructive testing, polyethylene pipes, digital X-Ray image, X-Ray sensor*

Надійшла до редакції 01.07.2021

## ПЕРЕДПЛАТА 2022

Журнали	Вартість передплати на друковані версії журналів*, грн.			
	місяць	квартал	півроку	рік
«Автоматичне зварювання», видається з 1948 р., 12 випусків на рік. ISSN 0005-111X. Передплатний індекс 70031.	240	720	1440	2880
«Сучасна електрометалургія», видається з 1985 р., 4 випуски на рік. ISSN 2415-8445. Передплатний індекс 70693.	–	240	480	960
«Технічна діагностика та неруйнівний контроль», видається з 1989 р., 4 випуски на рік. ISSN 0235-3474. Передплатний індекс 74475.	–	240	480	960
«The Paton Welding Journal»**, видається з 2000 р., 12 випусків на рік. ISSN 0957-798X. Передплатний індекс 21971.	520	1560	3120	6240

\*Вартість з урахуванням доставки рекомендованою бандероллю.

\*\* Журнал «The Paton Welding Journal» містить статті, отримані від авторів з усього світу і вибірково перекладі на англійську мову статей з журналів «Автоматичне зварювання», «Сучасна електрометалургія», «Технічна діагностика та неруйнівний контроль».

Передплату на журнали можна оформити по каталогах передплатних агентцій «УКРПОШТА», «Преса», «Прес Центр», «АС Медіа» та у видавництві. Передплата через видавництво з любого місяця на любой термін, в т.ч. на попередні періоди та окремі статті, починаючи з першого року видання.

*Передплата на електронну версію журналів.*

Вартість передплати на електронну версію журналів дорівнює вартості передплати на друковану версію. Випуски журналу надсилаються електронною поштою у форматі pdf або для IP-адреси комп'ютера передплатника надається доступ до відповідних архівів журналу.

*Передплата через сайт видавництва:*

<https://patonpublishinghouse.com/ukr/journals/as/subscription>  
<https://patonpublishinghouse.com/ukr/journals/sem/subscription>  
<https://patonpublishinghouse.com/ukr/journals/tdnk/subscription>  
<https://patonpublishinghouse.com/eng/journals/tpwj/subscription>

На сайті видавництва у 2022 р. доступні для вільного копіювання випуски журналів з 2007 по 2020 рр.



Журнал «**Автоматичне зварювання**» є міжнародним науково-технічним та виробничим журналом у галузі технічних наук. В журналі публікуються результати досліджень за напрямками: матеріалознавство та металургія зварювання, наплавлення та інших споріднених технологій; технології та матеріали для зварювання конструкційних матеріалів; виробництво зварних металоконструкцій для різних галузей промисловості; відновлювальний ремонт для подовження ресурсу зварних конструкцій і вузлів; проблеми міцності, конструювання та оптимізації зварних конструкцій; технології 3D друку, які базуються на зварювальних процесах; гібридні технології зварювання. В журналі публікується також інформація про нові зварювальні матеріали, джерела живлення та технології; звіти про виставки, конференції та семінари, анонси нових книг та винаходів, новини від відомих компаній та інше.

### РЕКЛАМА В ЖУРНАЛАХ

Реклама публікується на обкладинках і внутрішніх вклейках журналів. Перша сторінка обкладинки – 200x200 мм. Друга, третя і четверта сторінки обкладинки – 200x290 мм. Перша, друга, третя, четверта сторінки внутрішньої обкладинки – 200x290 мм. Вклейка А4 – 200x290 мм. Розворот А3 – 400x290 мм. А5 – 185x130 мм. Розміри журналів після обрізу 200x290 мм. Всі файли в форматі IBM PC, кольорова модель СМΥК, роздільна здатність 300 dpi.

### ВАРТІСТЬ РЕКЛАМИ

Ціна договірна. Передбачена система знижок. Вартість публікації статті на правах реклами становить половину вартості рекламної площі. Публікується тільки профільна реклама з тематики журналів. Відносно вартості, знижок та термінів публікації прохання звертатися у видавництво.

### ВИДАВНИЦТВО

Міжнародна Асоціація «Зварювання»  
 03150, Київ, вул. Казимира Малевича, 11  
 Тел./факс: 38044 200-82-77  
 E-mail: journal@paton.kiev.ua  
<https://patonpublishinghouse.com>



Журнал «**Сучасна електрометалургія**» є міжнародним науково-теоретичним та виробничим журналом у галузі технічних наук. В журналі публікуються результати досліджень у сферах: металургія чорних і кольорових металів та сплавів; спеціальна електрометалургія (електрошлакова, електронно-променева, плазмова та вакуумно-дугова технології); нові матеріали; енерго-ресурсозбереження; матеріалознавство, 3D технології у спеціальній електрометалургії. Публікується також допоміжна інформація з тематики журналу.



Журнал «**Технічна діагностика та неруйнівний контроль**» є міжнародним науково-технічним та виробничим журналом у галузі технічних наук. В журналі публікуються результати досліджень з діагностики матеріалів і конструкцій та методи неруйнівного контролю для оцінки стану матеріалів і конструкцій; теорія, методи і засоби технічної діагностики. Розміщуються матеріали з моніторингу конструкцій та подовження ресурсу та працездатності засобами НК. Публікується супутня інформація з тематики журналу, а також інформація про події та новини в Українському товаристві НК та ТД.