

<https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-357-34>

УДК 620.179.16

ГЛАБЕЦЬ СЕРГІЙ

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського»
e-mail: s.glabets@gmail.com

КРЮКОВА ОЛЕНА

Київський національний університет технологій та дизайну
<https://orcid.org/0000-0001-8638-3580>
e-mail: kryukova.aa@kntd.edu.ua

ЛЯШОК ІРИНА

Київський національний університет технологій та дизайну
<https://orcid.org/0000-0001-9171-1075>
e-mail: lyashok.io@kntd.edu.ua

БУТЕНКО ОКСАНА

Київський національний університет технологій та дизайну
<https://orcid.org/0000-0002-4513-3355>
e-mail: butenko.oo@kntd.edu.ua

МОЖЛИВІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ МЕТОДІВ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПОЛІЕТИЛЕНОВИХ ТРУБ

У роботі представлено результати використання фізико-хімічних методів для контролю якості стикових зварних з'єднань у металевих конструкціях. Крім того, продемонстровано можливість застосування цих методів для конструкційних пластиків, зокрема для зварних з'єднань труб з поліетилену високої щільності (ПВЩ).

Ключові слова: труби, поліетилен високої щільності, фізико-хімічні методи контролю, дефекти.

HLABETS SERHIY

National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

KRIUKOVA OLENA**LIASHOK IRYNA****BUTENKO OKSANA**

Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

POSSIBILITY OF USING PHYSICO-CHEMICAL METHODS FOR QUALITY CONTROL OF POLYETHYLENE PIPES

Modern industry and utilities require the use of an extensive network of pipelines for the transportation of process fluids, gases, and water. Classic steel pipes connected by welding have a limited service life due to corrosion, metal aging, accumulation of contaminants, and difficulty in installation and repair.

An alternative to steel pipes is currently the use of pipes made of high-density polyethylene (HDPE), which has numerous advantages - no corrosion, resistance to temperature extremes and freezing, low weight, and ease of welding.

The time of flight diffraction (TOFD) method is quite accurate and in some cases can completely replace the use of the X-ray method. According to the analysis of the results obtained from the time of flight diffraction method and radiography, the TOFD method allows measuring the size of the defect and its depth in the material. In particular, the TOFD method is more sensitive to defects such as plane cracks compared to RT. In addition, this type of ultrasound is distinguished by safety, the practical absence of consumables and the speed of obtaining results.

This article considers aspects of the diffraction-time method of ultrasonic quality control of welded joints of polyethylene pipelines.

Comparative tests of DCHM, radiographic method (only gamma radiation) and traditional ultrasound showed a probability of detecting a defect of 70-90% for DCHM versus 60-70% for radiography and 50-65% for ultrasound.

The penetrant method has demonstrated high efficiency, but only for defects that appear on the surface of the controlled product. The use of the diffraction-time ultrasonic testing method can be recommended to replace destructive testing of the quality of welded joints, provided that the method is adapted to the peculiarities of the physicochemical properties of polyethylene pipes.

The work established that the use of the diffraction-time method of ultrasound with longitudinal waves, according to the above advantages of the method, will have positive results in the case of selecting the optimal frequency of the transducer and the design of the prism, as well as the optimal focusing depth of the transducers to reduce near-surface "dead zones".

Keywords: pipes, high-density polyethylene, physicochemical control method, defects.

Стаття надійшла до редакції / Received 11.06.2025

Прийнята до друку / Accepted 15.08.2025

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Сучасні промислові та комунальні підприємства гостро відчують потребу в розгалужених системах трубопроводів для транспортування технологічних рідин, газоподібних речовин і води. Традиційно використовувані сталеві труби, що з'єднуються шляхом зварювання, мають обмежену тривалість служби внаслідок процесів старіння металів, корозійних пошкоджень, накопичення забруднювальних часток, а також складності в їх монтажі та ремонті. Наразі поліетиленові труби

високої щільності (ПВЩ) постають як перспективна альтернатива сталевим трубам завдяки їх численним перевагам: стійкість до корозії, здатність працювати у широкому діапазоні температур, у тому числі нижче нуля, легкість у ваговому відношенні та швидкість зварювання. Для забезпечення якості зварних з'єднань труб ПВЩ застосовується як візуальний контроль, так і руйнівні методи перевірки: гідростатичні випробування високим тиском та механічні випробування міцності швів на розтяг за допомогою машин [1]. На даний момент не існує уніфікованих критеріїв відбракування залежно від природи та розмірів дефектів, однак розвиток методів неруйнівного контролю є критично важливим для їх визначення.

Аналіз досліджень та публікацій

Згідно з дослідженнями [2] у зварних з'єднаннях ПВЩ труб найбільш поширеними є наступні дефекти: пори, несплавлення, тріщини, сторонні включення.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є: аналіз класичних методів контролю якості зварних з'єднань сталевих труб та існуючі вимоги до труб ПВЩ, а також можливість використання та адаптації методів ультразвукового неруйнівного контролю для контролю ПВЩ труб.

Виклад основного матеріалу

Для неруйнівного контролю сталевих труб з метою виявлення внутрішніх дефектів у стикових зварних з'єднаннях традиційно використовується радіографічний метод, луна-імпульсний метод ультразвукового контролю (УЗК) з використанням зсувних хвиль і реєстрацією амплітуди сигналів відбиття ультразвукового променя від дефектів, а також капілярний метод за допомогою рідин з високою проникною здатністю [3].

Рентгенографія небезпечна і трудомістка при проведенні контролю і обробці результатів через використання гамма- і рентгенівського випромінювання, але має високу чутливість для виявлення об'ємних дефектів і дозволяє просто фіксувати результати контролю - зображення.

Ультразвуковий метод контролю є безпечним інструментальним методом, що забезпечує виявлення як об'ємних дефектів (пори, включення), так і площинних дефектів (тріщин, розшарування). Однак для підбору параметрів процесу, аналізу та інтерпретації отриманих результатів потрібні висококваліфіковані фахівці.

Використання проникних речовин (капілярний метод) дозволяє отримати достовірну картину несучільностей, що виходять на поверхню об'єкту контролю. Метод оснований на капілярному проникненні індикаторних рідин у порожнини поверхневих і наскрізних несучільностей матеріалу об'єкта контролю та візуальної реєстрації індикаторних слідів, що утворюються за допомогою проявника. Контроль проникаючими речовинами повинен проводитись з застосуванням таких капілярних речовин: пенетрант, засіб для видалення проникаючої рідини з поверхні (очисник) та проявник. Хімічні та фізичні властивості деяких неметалічних матеріалів, особливо пластиків такі, що їх можна пошкодити пенетраційними матеріалами. Тому їх сумісність має бути перевірена ще перед контролем.

Фізичні властивості та структурні особливості матеріалу труб ускладнюють контроль за допомогою ультразвукового методу. Порівняно зі сталлю, поліетилен є набагато м'якшим, має аморфну структуру, що сприяє швидкому зменшенню енергії ультразвукових коливань. Щоб подолати ці проблеми зменшують робочу частоту датчиків та застосовують унікальні способи введення ультразвуку у матеріал [3]. Як внутрішні дефекти структури ПВЩ, так і пошкодження зовнішніх поверхонь неможливо виявити за допомогою вищезгаданих методів контролю. Класичні неруйнівні методи, такі як рентгенографія, також неефективні через наявність дефектів певної просторової орієнтації, тобто вони слабо чутливі до плоских несплавлень та тріщин. Традиційний ультразвуковий контроль за допомогою луна-імпульсного методу неефективний, оскільки зсувні хвилі в цих типах матеріалів мають низьку енергетику.

Метод ультразвукової дефектоскопії, який набув популярності в останні роки, називається дифракційно-часовим методом (ДЧМ). По іншому його називають «часопролітна дифракція», що походить від англійської назви time of flight diffraction (TOFD). Основою цього методу є дифракція ультразвукових хвиль на дефектах і реєстрація цих хвиль. Перший перетворювач посилає поздовжню ультразвукову хвилю у зону контролю, за наявності дефектів на другий перетворювач приходять дифракційні хвилі від порушень структури матеріалу.

ДЧМ розроблявся для контролю стикових зварних з'єднань металів. Найчастіше використовують частоти ультразвукових коливань у діапазоні від 1 до 15 МГц, кут вводу коливань залежить від товщини матеріалу. Теоретично можливо провести цим методом контроль ПВЩ до 100 мм [4].

Необхідне використання скануючого пристрою для реалізації ДЧМ з спеціалізованими цифровими дефектоскопами. Це дозволяє знаходити місцезположення дефектів у ПВЩ та з'ясовувати їх розміри. На екрані дефектоскопу відображається переріз зони контролю зварного з'єднання з розташуванням дефектів відносно фактичної товщини матеріалу [5].

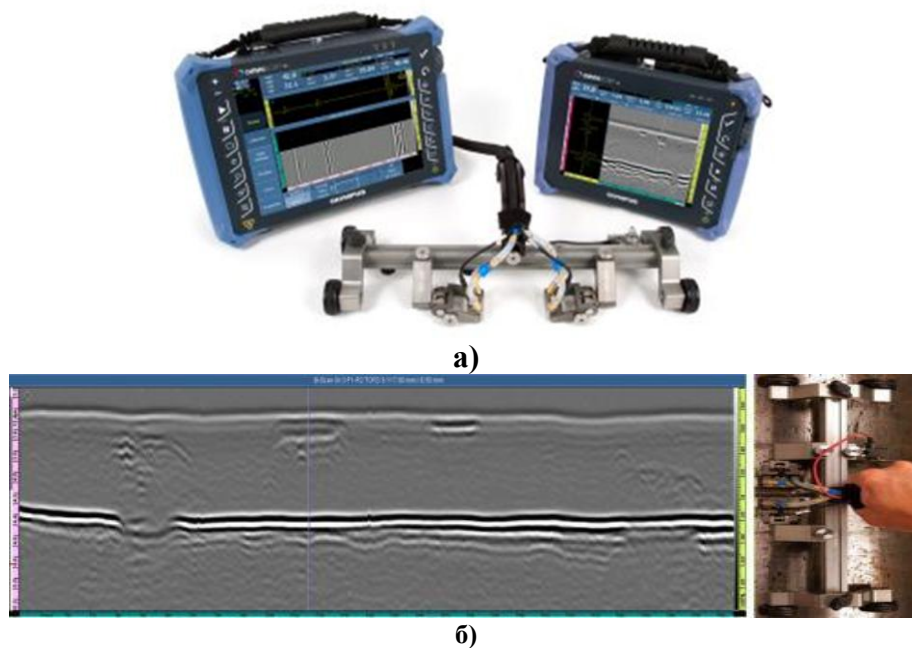


Рис. 1. Обладнання для реалізації ДЧМ контролю зварного з'єднання:
а) загальний вигляд приладу та сканеру;
б) переріз зварного шва ПВЩ з дефектами;

Порівняння ефективності зазначених вище методів контролю ПВЩ викладено в таблиці 1.

Таблиця 1

Порівняння методів неруйнівного контролю для контролю якості ПВЩ

Характеристика/метод	Радіографія	Луна-імпульсний УЗК	ДЧМ УЗК	Проникних речовин
Швидкість контролю	-	+-	+	-
Безпечність контролю	-	+	+	+
Виявлення об'ємних дефектів	+	+-	+	+-
Виявлення площинних дефектів	+-	+	+	+-
Візуалізація процесу контролю	-	+-	+	+
Можливість документування результатів	+	+-	+	+

Позначення: «+» - так; «-» - ні; «+-» - можливо за певних умов.

Результати порівняння ефективності виявлення внутрішніх дефектів складають 50-65% для луна-імпульсного ультразвукового контролю, 60-70% для радіографії та 70-90% для ДЧМ [6]. Капілярний метод ефективний лише для внутрішніх дефектів, що мають вихід на поверхню матеріалу.

Таким чином, застосування ДЧМ ультразвукового контролю, враховуючи переваги цього підходу, обіцяє позитивні результати за умови вирішення деяких технологічних питань. Необхідно визначити оптимальну частоту роботи перетворювача та конструктивні особливості призми, оскільки обладнання, пристосоване для контролю сталевих труб, не підходить для труб з поліетилену через фізичні особливості матеріалу [7]. Також необхідна оптимізація технологій контролю для підвищення чутливості методу по всій товщині контрольованого матеріалу [4].

**Висновки з даного дослідження
і перспективи подальших розвідок у даному напрямі**

Серед зазначених вище методів безперечно перевагу продемонстрував дифракційно-часовий метод ультразвукового контролю у порівнянні з рентгеном і стандартними підходами ультразвукового контролю. ДЧМ забезпечує високу точність вимірів координат внутрішніх дефектів незалежно від їхньої просторової орієнтації. Метод дозволяє ефективно виявляти різноманітні дефекти та протоколювати результати контролю. Метод проникних речовин незважаючи на складність підбору хімічного складу матеріалів демонструє високу ефективність, але тільки для дефектів, які виходять на поверхню контрольованого виробу. Таким чином, вважаємо доцільним використання ДЧМ для заміни руйнівних випробувань якості зварних з'єднань, за умови адаптації методики до особливостей фізико-хімічних властивостей поліетиленових труб.

Література

1. Поліетиленові (ПЕ) труби і фітинги. Визначення міцності на розрив і типу руйнування зразків, виготовлених із стикового зварного з'єднання : ДСТУ Б EN ISO 13953:2011 — [Введ. в дію 01.01.2013]. — К. : Держстандарт України, 2013. — 49 с. — (Національний стандарт України).
2. Pettigrew, I.G. "Advanced Ultrasonic Inspection of HDPE Welds." Paper presented at the Offshore Technology Conference-Asia, Kuala Lumpur, Malaysia, March 2014. doi: <https://doi.org/10.4043/25065-MS>.
3. Correia, C. (2017). TOFD Examination of HDPE Butt Weld Fusion Joints. *e-Journal of Nondestructive Testing*, Vol. 22(6), pp. 1-11.
4. Глабець С.М. Ультразвуковий дифракційно-часовий (TOFD) метод НК для контролю стикових зварних з'єднань/СМ Глабець//Неруйнівний контроль в контексті асоційованого членства України в Європейському Союзі: матеріали 1-шої науково-технічної конференції з міжнародною участю—NDT-UA 2017, 24-27 жовтня 2017 року, м. Люблін, Польща.—Люблін: УТ НКТД, 2017.—С. 17-24.—Бібліогр.: 2 назви.
5. Introduction to Time-of-Flight Diffraction (TOFD) for Weld Inspection — Режим доступу: <https://www.olympus-ims.com/en/applications/introduction-to-time-of-flight-diffraction-for-weld-inspection/>.
6. Неруйнівний контроль. Ультразвуковий контроль. Дифракційно-часовий метод для виявлення та визначення розмірів несутільностей : ДСТУ EN ISO 16828:2015 — [Введ. в дію 24.02.2016]. — К. : Держстандарт України, 2016. — 23 с. — (Національний стандарт України).
7. Introduction to Time-of-Flight Diffraction (TOFD) for Weld Inspection — Режим доступу: <https://www.olympus-ims.com/en/applications/introduction-to-time-of-flight-diffraction-for-weld-inspection/>.

References

1. Polietylenovi (PE) truby i fitynhy. Vyznachennya mitsnosti na rozryv i typu ruynuvannya zrazkiv, vyhotovlenykh iz stykovoho zvarnogo z'yednannya : DSTU B EN ISO 13953:2011 — [Vved. v diyu 01.01.2013]. — K. : Derzhstandart Ukrainy, 2013. — 49 s. — (Natsional'nyy standart Ukrainy).
2. Pettigrew, I.G. "Advanced Ultrasonic Inspection of HDPE Welds." Paper presented at the Offshore Technology Conference-Asia, Kuala Lumpur, Malaysia, March 2014. doi: <https://doi.org/10.4043/25065-MS>.
3. Correia, C. (2017). TOFD Examination of HDPE Butt Weld Fusion Joints. *e-Journal of Nondestructive Testing*, Vol. 22(6), pp. 1-11.
4. Hlabets' S.M. Ul'trazvukovyy dyfraktsiyno-chasovyyy (TOFD) metod NK dlya kontrolyu stykovykh zvarnykh z'yednan'/SM Hlabets'//Neruynivnyy kontrol' v konteksti asotsiyovanoho chlenstva Ukrainy v Yevropeys'komu Soyuzi: materialy 1-shoyi naukovotekhnichnoyi konferentsiyi z mizhnarodnoyu uchastyu—NDT-UA 2017, 24-27 zhovtnya 2017 roku, m. Lyublin, Pol'shcha.—Lyublin: UT NKTD, 2017.—S. 17-24.—Bibliogr.: 2 nazvy.
5. Introduction to Time-of-Flight Diffraction (TOFD) for Weld Inspection — Rezhym dostupu: <https://www.olympus-ims.com/en/applications/introduction-to-time-of-flight-diffraction-for-weld-inspection/>
6. Neruynivnyy kontrol'. Ul'trazvukovyy kontrol'. Dyfraktsiyno-chasovyy metod dlya vyyavlennya ta vyznachennya rozmiriv nesutsil'nostey : DSTU EN ISO 16828:2015 — [Vved. v diyu 24.02.2016]. — K. : Derzhstandart Ukrainy, 2016. — 23 s. — (Natsional'nyy standart Ukrainy).
7. Introduction to Time-of-Flight Diffraction (TOFD) for Weld Inspection — Rezhym dostupu: <https://www.olympus-ims.com/en/applications/introduction-to-time-of-flight-diffraction-for-weld-inspection/>.