



Найда А. М.

## ВИПРОБУВАННЯ ПОЛІВІНІЛХЛОРИДНИХ ТРУБ, ОТРИМАНИХ МЕТОДОМ ОРІЄНТАЦІЇ ЩОДО ОПТИМАЛЬНОГО СТУПЕНЯ ВИТЯЖКИ

Досліджено, яким чином розподіляються сигнали акустичної емісії при проведенні гідровипробування труб з непластифікованого полівінілхлориду і труб з непластифікованого полівінілхлориду, отриманих методом орієнтування з різними товщинами і ступенями витяжки. Показано ефективність застосування способу акустичної емісії для визначення оптимальної ступені витяжки труб з непластифікованого полівінілхлориду, отриманих методом орієнтування.

**Ключові слова:** труба, непластифікований полівінілхлорид, метод орієнтування, акустична емісія, ступінь витяжки, температура.

### 1. Вступ

Декілька десятків років системи внутрішньої і зовнішньої водопровідної системи монтувались із сталених оцинкованих труб. Сьогодні їх впевнено витісняють полімерні труби, зокрема труби із непластифікованого полівінілхлориду (НПВХ). В даний час найкращим шляхом вирішення проблеми є напрям випуску труб ПВХ з молекулярною орієнтацією або труби з орієнтованого ПВХ (ПВХ-О).

Труби з орієнтованого ПВХ — найдосконаліші труби для транспортування води під тиском, які на сьогоднішній день доступні на ринку. Беручи до уваги, що ПВХ-О проявляє виняткову втомну міцність і дуже хорошу хімічну стійкість, подібно до традиційного ПВХ, що не буде перебільшенням сказати, що цей тип труб здатний витримувати роботу під тиском більше сотні років.

ПВХ-О труби стійкі до удару. Завдяки цій якості при падінні труби або в результаті падіння на неї каменя в процесі монтажу або при випробуванні руйнування труби не відбувається.

Крім того, молекулярна орієнтація запобігає поширенню тріщин і подрапин і виключає небезпеку швидкого поширення тріщини. Як результат — помітне збільшення терміну служби труб.

На підставі всього цього можна говорити про те, що ПВХ-О труби є найкращим рішенням для застосування в мережах водопостачання, що працюють під високим і середнім тиском, в зрошувальних системах, системах пожежогасіння та насосних системах, а також в інших областях. Це є майбутнє водопровідного транспорту України.

Актуальність роботи полягає в запровадженні своєї вітчизняної технології отримання ПВХ-О труб з оптимальною ступеню витяжки, що дозволить суттєво зменшити витрати на їх виробництво при одночасному покращенні фізико-механічних характеристик порівняно з традиційною технологією отримання труб з НПВХ.

### 2. Об'єкт дослідження та його технологічний аудит

Об'єктом дослідження є труба з НПВХ зовнішнім діаметром 90 мм з товщиною стінки 3,5 мм (з якої

потім робили труби ПВХ-О 110\*2,9 мм; 125\*2,5 мм; 140\*2 мм). Дана труба має характеристики, вказані в табл. 1.

Таблиця 1

Характеристика труби з НПВХ зовнішнім діаметром 90 мм з товщиною стінки 3,5 мм

№	Назва показника	Значення показника
1	Опір удару падаючого вантажу, кількість зруйнованих зразків (показник TIR), %, не більше	10 при $(0 \pm 1) ^\circ\text{C}$ глибина тріщин не більше 20 % товщини стінки
2	Відносне подовження труб при розриві, %, не менше	25
3	Межа текучості при розтягу, МПа, не менше	44,1
4	Зміна довжини труб після прогрівання при температурі $(150 \pm 2) ^\circ\text{C}$ протягом не менше 15 хв, %, не більше	5
5	Температура розм'якшення за Віка, $^\circ\text{C}$ , не менше	80
6	Стійкість до дії дихлоретану при температурі $(15 \pm 1) ^\circ\text{C}$ протягом не менше 30 хв	Без змін зовнішнього вигляду зразків, глибина тріщин не більше 20 % товщини стінки

Характерним недоліком труби НПВХ є її дороговизна. З вищеописаної труби методом орієнтування необхідно отримати трубу з меншою товщиною стінки, а отже і значно дешевшу, але з параметрами, які повинні бути не меншими, не гіршими за параметри труби, вказані в табл. 1. Слід дослідити оптимальну ступінь витяжки труби з НПВХ для отримання методом орієнтування трубу з ПВХ-О, що буде виконуватись методом акустичної емісії.

### 3. Мета та задачі досліджень

Мета роботи — експериментально перевірити факт збільшення міцності труб з ПВХ-О шляхом збільшення ступеней витяжки і знаходження їх оптимальних параметрів.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі.

1. Визначити значення параметрів сигналів акустичної емісії при гідровипробуванні труб з НПВХ і ПВХ-О труб.

2. На основі аналізу отриманих сигналів визначити оптимальну ступінь витяжки ПВХ-О труб.

#### 4. Аналіз літературних даних

Методи визначення характеристик і властивостей труб з полівінілхлориду, викладені в держстандартах [1–4]. Зокрема у роботах [1, 4] наведені методи проведення випробовувань труб з НПВХ, що характеризують їх основні властивості для вітчизняного [1] і європейського [4] виробника. В роботі [2] показаний спосіб визначення кільцевої жорсткості труб з ПВХ. В роботі [3] наведені методи проведення гідравлічних випробовувань труб з НПВХ. В роботі [5] наведені узагальнені дані про природу матеріалу НПВХ, з якого потім роблять труби. В роботі [6] наведені результати досліджень розробки композиційних матеріалів на основі полівінілхлориду. В роботі [7] наведені результати досліджень в області старіння і стабілізації полівінілхлориду. Теоретичні основи з залежностей властивостей і характеристик від вимог до виробів з полівінілхлориду, умов переробки розглянуто в роботі [8] були використані при проведенні досліджень.

Однак відсутня вітчизняна інформація щодо проведення досліджень щодо визначення оптимальних ступенів витяжки ПВХ-О труб. Є ряд досліджень, що проводились закордоном, які висвітлені в статтях [9–12]. Зокрема, у роботі [10] показані лише труби з НПВХ у стандартних каталогах, з повною відсутністю інформації про труби з ПВХ-О, а у роботі [11] досліджувались гідродинамічні характеристики ПВХ-О труб, однак не брались до уваги труби ПВХ-О з різними товщинами стінок, щоб визначити оптимальні параметри труб. В роботі [12] запропоновано узагальнити всі характеристики ПВХ-О труб.

Аналіз вищезгаданих робіт показав, що практично не приділяється увага дослідженню ступеня витяжки труб ПВХ-О, що дозволить їх зробити більш дешевшими і легшими у виробництві.

#### 5. Матеріали та методи дослідження

Розглядаються засоби та методи визначення початку руйнівних процесів ПВХ-О труб методом акустичної емісії. Обладнання, що застосовувалось при дослідженні:

- портативна восьмиканальна акустично-емісійна система 8КОР-8;

- гідростенд Gotech на 12 каналів (діапазон випробовувань 0–8 МПа).

При підготовці до проведення випробувань зразка було вирішено розташувати вздовж зразка 2 датчики акустичної емісії акустично-емісійної системи 8КОР-8 (рис. 1).

Попередньо змащені мастилом типу ЦИАТИМ робочі частини датчиків акустичної емісії приєднували до зразка за допомогою ізоляційної стрічки. Кожен з датчиків з'єднували із своїм каналом портативної восьмиканальної акустично-емісійної системи 8КОР-8. Оброблений та підсилений сигнал від акустично-емісійної системи 8КОР-8 надходив до персонального комп'ютера (рис. 2), де фіксувався у виді відповідних графіків.



Рис. 1. Установа датчиків акустичної емісії на труби з ПВХ-О і НПВХ

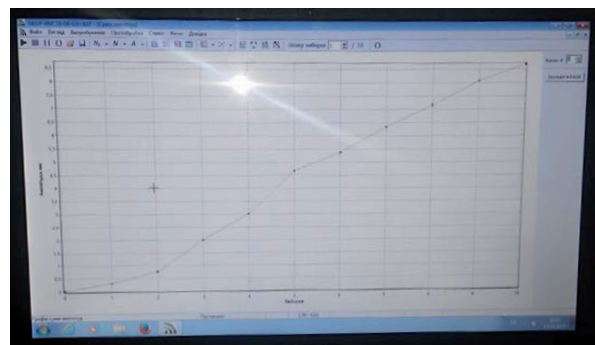


Рис. 2. Фіксація сигналів акустичної емісії на установці акустично-емісійної системи 8КОР-8

Труби, попередньо закритими сферичними заглушками, приєднувались до гідростенду Gotech через напірні шланги, по яких вода з гідростенду попадала в досліджувані труби. Покази тиску, часу випробування виводились на екран вищевказаного гідростенду (рис. 3).

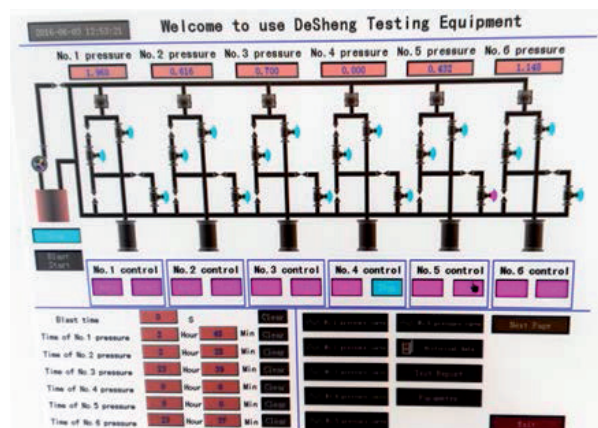


Рис. 3. Покази тиску, часу випробування на екрані гідростенду Gotech

Для забезпечення безпечного процесу випробування трубу з датчиками акустичної емісії поміщали у футляр з поліетилену, зовнішнім діаметром 630 мм і товщиною стінки 36 мм.

### 6. Результати досліджень

При проведенні дослідження всі зрізці труб навантажували внутрішнім гідростатичним тиском 4 МПа і витримувались певний час. На труби кріпились відповідні заглушки і датчики акустичної емісії акустично-емісійної системи 8КОР-8.

Результати випробування зображені на рис. 4–7.

Аналізи графіків залежностей значень сум рахунків сигналів акустичної емісії і сум емісії амплітуд сигналів акустичної емісії для труби з НПВХ зовнішнім діаметром 90 мм з товщиною стінки 3,5 мм, труб ПВХ-О: 110\*2,9 мм, 125\*2,5 мм, 140\*2 мм наведені в табл. 2, 3.

Отже, згідно табл. 2, 3, видно, що для отримання труби ПВХ-О з труби НПВХ 90\*3,5 мм, оптимальним варіантом є труба з ступенем витяжки 1,4, а саме 125\*2,5, оскільки вона дозволяє одночасно зменшити товщину стінки на 40 % і мати більший ресурс часу експлуатації до руйнування на 77 %, порівняно з типорозмірними трубами 110\*2,9 і 140\*2,0, з яких одна має грубішу стінку, що здорожує трубу, а інша має менший ресурс часу експлуатації до руйнування.

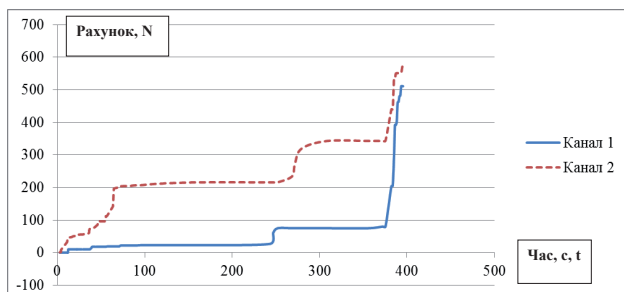


Рис. 4. Графік залежності значень сум рахунків сигналів акустичної емісії для труби з НПВХ зовнішнім діаметром 90 мм з товщиною стінки 3,5 мм

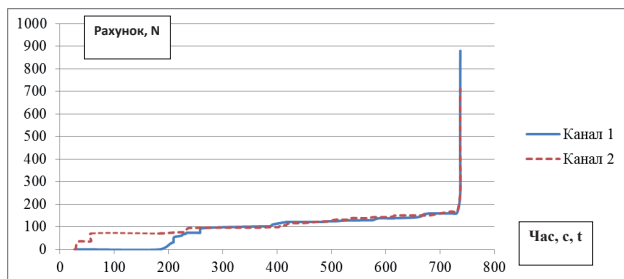


Рис. 5. Графік залежності значень сум рахунків сигналів акустичної емісії для труби з ПВХ-О зовнішнім діаметром 125 мм з товщиною стінки 2,5 мм

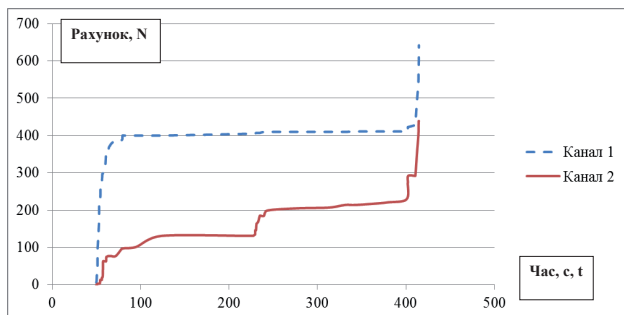


Рис. 6. Графік залежності значень сум рахунків сигналів акустичної емісії для труби з ПВХ-О зовнішнім діаметром 140 мм з товщиною стінки 2,0 мм

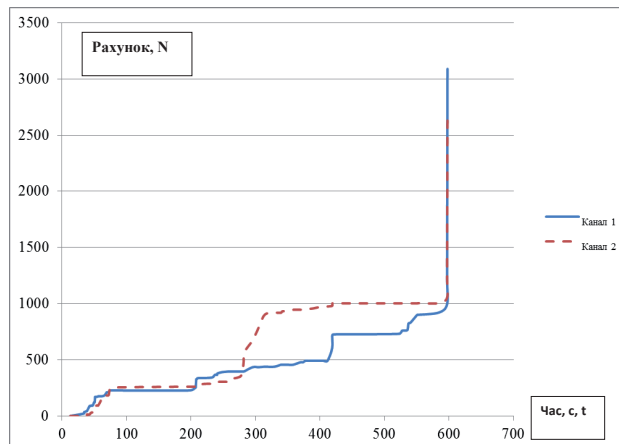


Рис. 7. Графік залежності значень сум рахунків сигналів акустичної емісії для труби з ПВХ-О зовнішнім діаметром 110 мм з товщиною стінки 2,9 мм

Таблиця 2

Аналіз графіків залежностей значень сум рахунків сигналів акустичної емісії

Назва труби	Час, с		Підсумковий рахунок		Тиск, МПа	Ст. витяжки
	Канал 1	Канал 2	Канал 1	Канал 2		
90*3,5	380	380	80	340	4,0	—
110*2,9	597	597	1000	1002	4,0	1,21
125*2,5	731	731	180	182	4,0	1,4
140*2,0	412	412	290	430	4,0	1,75

Таблиця 3

Аналіз графіків залежностей значень сум амплітуд сигналів акустичної емісії

Назва труби	Час, с		Сума амплітуд мВ		Тиск, МПа	Ст. витяжки
	Канал 1	Канал 2	Канал 1	Канал 2		
90*3,5	380	380	35	48	4,0	—
110*2,9	597	597	60	70	4,0	1,21
125*2,5	731	731	42	43	4,0	1,4
140*2,0	412	412	46	46	4,0	1,75

### 7. SWOT-аналіз результатів дослідження

**Strengths.** Труба ПВХ-О з оптимальним ступенем витяжки значно зменшує вартість труби, порівняно з трубою з НПВХ.

**Weaknesses.** Однак виробництво ПВХ-О труби є досить складним по технологічним параметрам, ніж виробництво НПВХ-О труби.

**Opportunities.** Надалі слід розпочати виготовлення труб ПВХ-О з можливістю автоматичного регулювання ступеня витяжки, що дозволить зробити їх менш складнішими у виробництві.

**Threats.** Однак виробництво ПВХ-О труб зараз досить проблематичне, через відсутність належної нормативної вітчизняної бази.

### 8. Висновки

1. Отримані такі параметри сигналів акустичної емісії, як значення сум рахунків сигналів акустичної

емісії і значення сум амплітуд сигналів акустичної емісії, які вдалось отримати лише шляхом застосування методу акустичної емісії на поверхні ПВХ-О труб.

2. Аналіз параметрів акустичної емісії, а саме значення сум рахунків сигналів акустичної емісії і значення сум амплітуд сигналів акустичної емісії дозволив виявити оптимальну ступінь витяжки труб з ПВХ-О, а саме: для отримання труби ПВХ-О з труби НПВХ 90\*3,5 мм, оптимальним варіантом є труба з ступенем витяжки 1,4, а саме 125\*2,5, оскільки вона дозволяє одночасно зменшити товщину стінки на 40 % і мати більший ресурс часу експлуатації до руйнування на 77 %, порівняно з типорозмірними трубами 110\*2,9 і 140\*2,0, з яких одна має грубішу стінку, що здорожує трубу, а інша має менший ресурс часу експлуатації до руйнування.

#### Література

1. ДСТУ Б.В.2.7-147:2007. Труби з непластифікованого полівинилхлориду та фасонні вироби до них для холодного водопостачання. Технічні умови [Текст]. — К.: Міністерство регіонального розвитку та будівництва, 2007. — 88 с.
2. BS EN ISO 9969:1995. Thermoplastics pipes. Determination of ring stiffness [Electronic resource]. — Available at: \www/URL: <http://dx.doi.org/10.3403/00487717>
3. BS EN 744:1996. Plastics piping and ducting systems. Thermoplastics pipes. Test method for resistance to external blows by the round-the-clock method [Electronic resource]. — Available at: \www/URL: <http://dx.doi.org/10.3403/00650491>
4. BS EN 1452-1. Plastics piping systems for water supply. Unplasticized poly (vinyl chloride) (PVC-U). General [Electronic resource]. — Available at: \www/URL: <http://dx.doi.org/10.3403/02151876u>
5. Тугов, И. И. Химия и физика полимеров [Текст] / И. И. Тугов, Г. И. Костыркина. — М.: Химия, 1989. — 432 с.
6. Гузев, В. В. Исследование и разработка композиционных материалов на основе поливинилхлорида [Текст]: дис. ... докт. техн. наук / В. В. Гузев. — Москва, 1979.
7. Минскер, К. С. Достижения и задачи исследований в области старения и стабилизации ПВХ [Текст] / К. С. Минскер, Г. Е. Заиков // Пластические массы. — 2001. — № 4. — С. 27–35.
8. Уилки, Ч. Поливинилхлорид [Текст] / под ред. Ч. Уилки, Дж. Саммерс, Ч. Даниэлс; пер. с англ. Г. Е. Заиков. — СПб.: Профессия, 2007. — 728 с.
9. Володин, В. П. Экструзия пластиковых труб и профилей [Текст] / В. П. Володин. — СПб.: Профессия, 2010. — 240 с.
10. Willoughby, D. A. Plastic Piping [Text] / D. A. Willoughby. — McGraw-Hill Professional, 2009. — 576 p.
11. Ferrante, M. Hydraulic Characterization of PVC-O Pipes by Means of Transient Tests [Text] / M. Ferrante, C. Capponi, V. Brunone, S. Meniconi // Procedia Engineering. — 2015. — Vol. 119. — P. 263–269. doi:10.1016/j.proeng.2015.08.884
12. Robeyns, J. Molecular-oriented PVC (MOPVC) and PVC-U pipes for pressure applications in the water industry [Text] / J. Robeyns, P. Vanspeybroeck // Plastics, Rubber and Composites. — 2005. — Vol. 34, № 7. — P. 318–323. doi:10.1179/174328905x59782

#### ИСПЫТАНИЕ ПОЛИВИНИЛХЛОРИДНЫХ ТРУБ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ОРИЕНТАЦИИ НА ОПТИМАЛЬНУЮ СТЕПЕНЬ ВЫТЯЖКИ

Исследовано, каким образом распределяются сигналы акустической эмиссии при проведении гидроиспытания труб из непластифицированного поливинилхлорида и труб из непластифицированного поливинилхлорида, полученных методом ориентирования с разными толщинами и степенями вытяжки. Показана эффективность применения способа акустической эмиссии для определения оптимальной степени вытяжки труб из непластифицированного поливинилхлорида, полученных методом ориентирования.

**Ключевые слова:** труба, непластифицированный поливинилхлорид, метод ориентирования, акустическая эмиссия, степень вытяжки, температура.

*Найда Андрій Михайлович, здобувач, кафедра хімічної технології композиційних матеріалів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», Україна, e-mail: najda@polyplastic.ua.*

*Найда Андрей Михайлович, соискатель, кафедра химической технологии композиционных материалов, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского», Украина.*

*Najda Andrew, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine, e-mail: najda@polyplastic.ua*

УДК 666.768

DOI: 10.15587/2312-8372.2016.80422

Харьбина Ю. В.

## ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЕАКЦИЙ В СИСТЕМЕ $Al_2O_3-SiO_2-CaO-P_2O_5$

Рассчитаны выходные термодинамические константы: энтальпия  $\Delta H_{298}^0$ , энтропия  $S_{298}$ , уравнение зависимости теплоемкости от температуры  $C_p = f(T)$  для некоторых соединений системы  $Al_2O_3-SiO_2-CaO-P_2O_5$ , что необходимо для проведения термодинамического анализа фазовых равновесий в указанной системе. Установлена возможность протекания сопряженных реакций, что свидетельствует о перестройке коннод в исследуемой системе.

**Ключевые слова:** энтальпия, энтропия, энергия Гиббса, сопряженные реакции, сосуществующие фазы.

### 1. Введение

Изучение термодинамических характеристик сложных кислородных соединений имеет первоочередное

значение при рассмотрении различных оксидных многокомпонентных систем, являющихся основой для создания огнеупорных материалов, обладающих рядом ценных эксплуатационных характеристик: повышенной проч-