УДК 621.643:725.4

В. В. Панкевич
В. А. Слободянюк

АНАЛІЗ ФАКТОРІВ, ЩО ВИЗНАЧАЮТЬ ЕКСПЛУАТАЦІЙНУ НАДІЙНІСТЬ ТРУБОПРОВОДІВ У ПРОМИСЛОВИХ БУДІВЛЯХ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі проаналізовано основні чинники, що визначають експлуатаційну надійність трубопроводів у промислових будівлях. Розглянуто вплив корозійних процесів, температурних і механічних навантажень, а також якості матеріалів та монтажу. Визначено основні заходи антикорозійного захисту, технічного контролю й діагностування, спрямовані на підвищення надійності трубопровідних мереж.

Ключові слова: корозія, покриття, промислові об’єкти, трубопровідні системи, експлуатаційна надійність.

Abstract

The paper analyzes the main factors determining the operational reliability of pipelines in industrial buildings. The influence of corrosion processes, thermal and mechanical loads, as well as the quality of materials and installation, is examined. Key measures for corrosion protection, technical inspection, and diagnostics aimed at improving the reliability of pipeline networks are identified.

Keywords: corrosion, coatings, industrial facilities, pipeline systems, operational reliability.

Вступ

Надійність, безпечність та енергоефективність сучасних промислових підприємств значною мірою залежать від технічного стану внутрішніх інженерних мереж і технологічних трубопроводів. На відміну від трубопровідних систем цивільних будівель, мережі промислових об'єктів можуть експлуатуватися в умовах одночасного впливу агресивних виробничих середовищ, підвищеної вологості, температурних перепадів, механічних і динамічних навантажень. Поєднання зазначених факторів прискорює процеси деградації матеріалу труб, спричиняє корозійне руйнування, порушення герметичності з'єднань та передчасне зниження експлуатаційної надійності трубопроводів. Наслідками таких пошкоджень можуть бути аварійні зупинки технологічного обладнання, додаткові витрати на ремонт і відновлення мереж, а також виникнення загрози для персоналу та виробничого середовища. Особливе місце серед причин зниження експлуатаційної надійності трубопроводів посідають корозійні процеси, інтенсивність яких залежить від властивостей матеріалу, складу транспортованого середовища, умов прокладання та режимів експлуатації. Водночас на технічний стан трубопроводів впливають температурні деформації, робочий тиск, вібрації, якість монтажу, зварних з'єднань і захисних покриттів. Тому забезпечення тривалої та безпечної експлуатації трубопровідних мереж потребує врахування сукупності взаємопов'язаних конструктивних, технологічних та експлуатаційних факторів.

Метою роботи є систематизація та комплексний аналіз основних факторів, що визначають експлуатаційну надійність трубопроводів у промислових будівлях, дослідження впливу корозійних процесів, температурних і механічних навантажень, а також обґрунтування комплексу технічних та експлуатаційних заходів щодо забезпечення їх надійної і тривалої роботи.

Результати дослідження

Питання протикорозійного захисту, класифікації агресивності навколишнього середовища та оцінювання технічного стану трубопровідних мереж регламентуються системою стандартів [1 – 3] та будівельними нормами [4, 5]. Дослідження корозії трубопроводів, методів антикорозійного захисту та діагностичного моніторингу сталевих трубопроводів висвітлено в наукових працях [6 – 8].

Експлуатаційна надійність трубопроводів промислових будівель формується під впливом сукупності факторів, які можуть діяти як окремо, так і одночасно. Одним із визначальних чинників

зниження надійності сталевих трубопроводів є корозія, яка залежно від механізму перебігу поділяється на хімічну, електрохімічну та біологічну [1]. Її інтенсивність залежить від вологості, температури, хімічного складу навколишнього середовища та властивостей транспортованого середовища.

Для промислових будівель характерна значна різноманітність умов експлуатації трубопроводів. Відповідно до ДСТУ [3], атмосферні умови експлуатації сталевих конструкцій класифікуються за категоріями корозійної активності. Для промислових об'єктів характерними категоріями є С3 – С5, їх визначення потребує оцінювання конкретних умов середовища, а не лише функціонального призначення будівлі [2]. Вибір системи захисту здійснюють з урахуванням категорії корозійної активності середовища та очікуваної довговічності покриття відповідно до ДСТУ [3]. Одним із основних заходів забезпечення корозійної стійкості сталевих трубопроводів є застосування захисних лакофарбових покриттів. Їх ефективність визначається якістю підготовки металевої поверхні, хімічним складом матеріалів, кількістю шарів, загальною товщиною сухої плівки та дотриманням технології нанесення. Класи довговічності покриттів H (15 – 25 років) і VH (понад 25 років) характеризують очікуваний період до першого значного відновлення захисної системи, а не гарантований строк експлуатації трубопроводу

Для сталевих поверхонь перед нанесенням захисних матеріалів важливе значення має абразивно-струминне очищення до ступеня Sa 2½, яке передбачає ретельне видалення окалини, іржі та інших забруднень. Такий рівень підготовки поверхні сприяє забезпеченню необхідної адгезії захисного покриття. Приклади таких систем наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 - Приклади багатошарових лакофарбових систем захисту сталевих поверхонь від корозії.

Категорія середовища	Підготовка поверхні	Схема покриття (шари)	Загальна товщина сухої плівки, мкм	Особливості застосування
С3 – середня агресивність	Абразивно-струминна обробка до Sa 2½	Епоксидний ґрунт (80 мкм); поліуретанова емаль – фінішне покриття (80 мкм)	160 -200	Базовий захист для приміщень із помірною вологістю та помірною корозійною активністю
С4 – висока агресивність	Абразивно-струминна обробка до Sa 2½	Цинконаповнений епоксидний ґрунт (60–80 мкм); епоксидний проміжний шар (120 –140 мкм); поліуретанова емаль (60 мкм)	200 – 260	Поєднання бар'єрного захисту з протекторною дією цинкового компонента.
С5 – дуже висока агресивність	Абразивно-струминна обробка до Sa 2½	Цинконаповнений епоксидний або етилсилікатний ґрунт (60–80 мкм); високо товщинний епоксидний шар із залізною слюдою MIO (180–200 мкм); поліуретанове або полісилоксанова фінішне покриття (60–80 мкм)	300 – 360	Для середовищ із високою корозійною активністю, максимальний захист від постійного конденсату, кислотних та лужних випарів.

На експлуатаційну надійність також впливають температурні та механічні навантаження. Зміни температури спричиняють лінійне розширення труб, виникнення додаткових напружень у зварних з'єднаннях, опорах і вузлах кріплення. Вібрації від технологічного обладнання та динамічні навантаження можуть прискорювати втому металу й утворення пошкоджень. Тому під час проєктування та монтажу необхідно враховувати температурні деформації, передбачати компенсатори й відповідні конструкції опор.

Окрему групу становлять технологічні чинники: якість труб і зварних з'єднань, дотримання вимог монтажу, правильність установлення опор, стан ізоляції та якість нанесення захисних покриттів. Підвищеної уваги потребують зварні шви, місця контакту різнорідних металів, опорні вузли та ділянки можливого утворення конденсату. Для зменшення ризику контактної корозії застосовують ізоляційні прокладки, а для запобігання пошкодженням від переміщення труб – опори з антифрикційними елементами.

Важливим напрямом підвищення надійності трубопроводів є контроль параметрів теплоносія та води в замкнутих системах. Зниження вмісту розчиненого кисню, деаерація, водопідготовка й контроль хімічного складу води дають змогу зменшити інтенсивність внутрішньої корозії [5, 6].

Для своєчасного виявлення дефектів необхідно застосовувати комплекс діагностичних заходів: візуальний огляд, ультразвукове вимірювання товщини стінок, тепловізійний контроль та моніторинг

корозійного стану трубопроводів. Поєднання цих методів дає змогу виявляти локальні пошкодження, оцінювати технічний стан мереж і планувати ремонтні роботи [8]

Висновок

Експлуатаційна надійність трубопроводів у промислових будівлях визначається сукупним впливом корозійних, температурних, механічних і технологічних чинників. Підвищення експлуатаційної надійності потребує комплексного підходу, що передбачає застосування ефективних захисних покриттів, урахування температурних деформацій під час проєктування та монтажу, контроль параметрів транспортованого середовища й періодичне діагностування технічного стану трубопроводів. Поєднання цих заходів сприяє зменшенню ризику пошкоджень і підвищенню безпеки експлуатації трубопровідних мереж.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ 3830-98. Корозія металів і сплавів. Терміни та визначення основних понять. Київ : Держстандарт України, 1999. 24 с.
2. ДСТУ ISO 12944-2:2019. Фарби та лаки. Захист від корозії сталевих конструкцій захисними лакофарбовими системами. Частина 2. Класифікація навколишнього середовища (ISO 12944-2:2017, IDT). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019.
3. ДСТУ ISO 12944-5:2019. Фарби та лаки. Захист від корозії сталевих конструкцій захисними лакофарбовими системами. Частина 5. Захисні лакофарбові системи (ISO 12944-5:2019, IDT). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019.
4. ДБН В.2.2-27:2025. Промислові будівлі. Київ : Мінрозвитку, 2025.
5. ДБН В.2.5-64:2012 Внутрішній водопровід та каналізація. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. Зі Зміною № 1
6. Мазур М. П. Внутрішньотрубна корозія промислових трубопроводів // Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доп. Міжнар. наук.-техн. конф. Тернопіль : ТНТУ, 2015. С. 44–46.
7. Антепа Д. Ю., Панкевич О. Д. Аналіз методів антикорозійного захисту промислових трубопроводів // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Енергоефективність в галузях економіки України-2025», Вінниця, 19-21 листопада 2025 р. Електрон. текст. дані (PDF: 654 КБ). 2025. URI: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egeu/egeu2025/paper/view/26267.
8. Ратушняк Г. С. Корозійно-діагностичний моніторинг підземної сталевої газотранспортної мережі [Текст] / Г. С. Ратушняк, О. І. Ободянська // Вісник машинобудування та транспорту. 2017. №1. С. 90-97.

Панкевич Володимир Вячеславович – PhD, старший викладач кафедри інженерних систем у будівництві, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Україна, м. Вінниця, ORCID 0000-0002-1929-8172, e-mail: pan@vntu.edu.ua.

Слободянюк Вікторія – студентка групи 1Б-25б, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: slobodanuk.viktoria.07@gmail.com.

Pankevych Volodymyr – PhD, senior lecturer of the department of engineering systems in construction, faculty of construction, civil and environmental engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, ORCID 0000-0002-1929-8172, e-mail: pan@vntu.edu.ua.

Slobodyanuk Viktoria – student of group 1B-25b, *Faculty of Civil and Environmental Engineering*, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: slobodanuk.viktoria.07@ gmail.com.