

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 621.643.035:624.078.5

А. О. КИЧМА^{1*}, Й. Й. ЛУЧКО², І. Б. КРАВЕЦЬ³

^{1*} Кафедра технічної механіки та динаміки машин, Національний університет «Львівська політехніка», вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна, 79013, тел. +38 (067) 782 67 27, ел. пошта akychma@gmail.com, ORCID 0000-0002-0339-4100

² Кафедра будівельних конструкцій, Львівський національний аграрний університет, вул. В. Великого, 1, Дубляни, Україна, 80381, ORCID 0000-0002-3675-0503

³ Кафедра мостів та тунелів, Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, ORCID 0000-0002-2239-849X

ПРОБЛЕМИ ОПОРНИХ КОНСТРУКЦІЙ НАДЗЕМНИХ ДІЛЯНОК НАФТОГАЗОПРОВОДІВ ТРИВАЛОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Мета. Узагальнення виявлених на основі тривалих багаторічних обстежень стану опорних вузлів надземних ділянок магістральних трубопроводів (МТ). Розроблення рекомендацій щодо мінімізації впливу виявлених відхилень і пошкоджень елементів опорних вузлів на подальшу безаварійну роботу надземних переходів магістральних трубопроводів. **Методика.** Для досягнення поставленої мети, проводилась робота в таких напрямках: розроблення рекомендацій та методики з виконання ремонтно-відновлювальних робіт залізобетонних конструкцій; розроблення рекомендацій із забезпечення необхідної несучої здатності залізобетонних паль та методики встановлення опорних роликів у проектне положення за допомогою мобільного підйимального пристрою без припинення транспортування продукту у магістральних трубопроводах. **Результати.** На основі проведених досліджень виявлено дефекти в опорних залізобетонних конструкціях, зменшення несучої здатності паль та відхилення елементів опорних вузлів від проектного положення і корозійні пошкодження ділянок трубопроводу під півхомутами. Здійснено моделювання напружено-деформованого стану (НДС) надземних ділянок МТ виходячи з умови, що труба одночасно є елементом будівельної конструкції, на яку діють вертикальні і горизонтальні навантаження від власної ваги, зміни температури, вітрові навантаження та технологічним елементом, який зазнає дії внутрішнього тиску. Навантаження, що діють на надземну ділянку трубопроводу під час ремонтно-відновлювальних робіт приймалися у найбільш невідповідних можливих комбінаціях чинників, що закладені у процесі будівництва і експлуатації МТ. Визначення НДС ділянок надземних переходів трубопроводів проводили на основі методу скінчених елементів. Значення напруженого стану надземних ділянок МТ визначали експериментальним шляхом електромагнітним методом, за допомогою приладу MESTR-411. **Наукова новизна.** Узагальнено численні дослідження стану елементів опорних залізобетонних конструкцій та рухомих кареток з опорними роликами. Розроблено методики ремонтно-відновлювальних робіт за допомогою мобільного пристрою без припинення транспортування продукту у магістральних трубопроводах. **Практична значимість.** Результати даного дослідження можна використовувати при плануванні обстежень та ремонтно-відновлювальних робіт магістральних трубопроводів, що експлуатуються. Розроблена методика ремонтно-відновлювальних робіт дозволяє виконувати ремонт у важкодоступних місцях (русла і заплави річок, заболочена місцевість та ін.) без застосування важкої підйимальної техніки (крани, трубоукладачі та ін.). Створена «Технологічна інструкція з підняття магістральних газопроводів на опорах надземних переходів балкового типу при проведенні ремонтних робіт».

Ключові слова: магістральні трубопроводи; надземні переходи; ін'єкційні методи; опора; ролики

Вступ

Надземні переходи магістральних трубопроводів (МТ) через водні перешкоди та заболочені ділянки – це складна просторова рамно-оболонкова конструкція, яка включає трубопроводи з компенсаторами, залізобетонні палі, які зв'язані залізобетонним ростверком на опо-

рі конструкції. При цьому значні габарити, коливання температури, вплив навколишнього середовища, швидкість потоку транспортованого продукту, вітрові навантаження та непостійність цих параметрів в часі призводять до того, що такі конструкції працюють у дуже складних умовах. Під час експлуатації внаслідок одночасної дії вертикального вагового навантаження

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

та обумовленої температурним перепадом і внутрішнім тиском транспортованого продукту поздовжньої сили надземний трубопровід деформується у поздовжньому і поперечному напрямках (Красовський, Ориняк, & Новіков, 2015).

Оцінка технічного стану залізобетонних опорних конструкцій нафто- та газопроводів є важливим показником, який характеризує безпечну і надійну експлуатацію усієї трубопровідної системи. Особливу увагу треба приділяти визначенню технічного стану трубопроводів, амортизаційний термін яких вичерпався (Лучко, & Кичма, 2019). Наприклад, газотранспортна система бувшого УМГ «Львівтрансгаз» включала більше 100 різних надземних переходів магістральних газопроводів через заплави річок, болота та водні перешкоди. Біля 52 % всіх газопроводів підприємства вже експлуатуються більше 25 років. Тому забезпечення задовільної працездатності таких потенційно небезпечних ділянок є актуальною задачею.

Аналіз останніх досліджень. У рамках виконання цільової програми НАН України «Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин» у 2013-2015 рр. проведена технічна діагностика 20 надземних переходів магістральних газопроводів (МГ) балкового типу, які розташовані на території Карпатського регіону (Патон, 2015). Виявлено ряд відхилень дійсного положення надземних ділянок МГ від проектного положення. Вплив пружного згину на напружено-деформований стан трубопроводів, що пролягають у гірських районах досліджено у праці (Bilobran, Dziubuk, & Yanovskyi, 2013). Конструкції опорних вузлів надземних переходів магістральних трубопроводів та основні види їх відхилень від початкового стану і види поломок розглянуто в (Dzyubuk, Palash, Nazar, Dzyubuk, & Palash, 2016). Авторами (Лаус, Коломєєв, Савула та ін., 2008) запропонована методика проведення підготовчих, ремонтно-відновлювальних і заключних робіт під час ремонту ділянок трубопроводів, розташованих на опорах балкових переходів. Спосіб ремонту ділянок газопроводів розташованих на колонах балкових переходів, без припинення перекачування газу запропонований в (Мандра, Беккер, Ніколаєв, Ксендзюк та ін., 2004). Питання оптимізації конструктивних параметрів мобільних підймальних при-

строїв для ремонту опор надземних переходів магістральних газопроводів розглянуті в праці (Харченко, & Новіцький, 2011).

Мета

Узагальнення виявлених на основі тривалих багаторічних обстежень стану опорних вузлів надземних ділянок магістральних трубопроводів (МТ). Розроблення рекомендацій щодо мінімізації впливу виявлених відхилень і пошкоджень елементів опорних вузлів на подальшу безаварійну роботу надземних переходів магістральних трубопроводів.

Методика

Для досягнення поставленої мети проводилась робота в таких напрямках: розроблення рекомендацій та методики з виконання ремонтно-відновлювальних робіт залізобетонних конструкцій; розроблення рекомендацій із забезпечення необхідної несучої здатності залізобетонних паль та методики встановлення опорних роликів у проектне положення за допомогою мобільного підймального пристрою без припинення транспортування продукту.

Результати

Технічний стан тривало експлуатованих залізобетонних конструкцій МТ. На рис. 1 а, б показано вигляд опорних вузлів газопроводу середнього тиску від ГРС «Розвадів» до ПАТ «Миколаївцемент» – II нитка, яку було введено в експлуатацію у 1972 р.

Газопровід виконано з безшовних сталевих труб із сталі 20 з зовнішнім діаметром Ø 325 мм і товщиною стінки 8 мм, ізоляція – бітумно-гумова з паперовою обгорткою, товщина ізоляції – 6 мм. Довготривала експлуатація газопроводу привела до деформації кріпильного хомута на опорі № 1 (рис. 1, а) і призвела до часткового руйнування опори №3 (рис. 1, б) і №5 (рис. 2) газопроводу середнього тиску від ГРС «Розвадів» до ПАТ «Миколаївцемент» – II нитка, яка експлуатується з 1972 року. Бетон на опорі №5 уражений біокорозією (рослинністю і мохом). Руйнування ростверку залізобетонних опор надземного переходу МГ «Івацевичі-Долина» II нитка, Ду 1200 через річку Свіча, яка експлуатується з 1976 року показано на рис. 3 і 4.

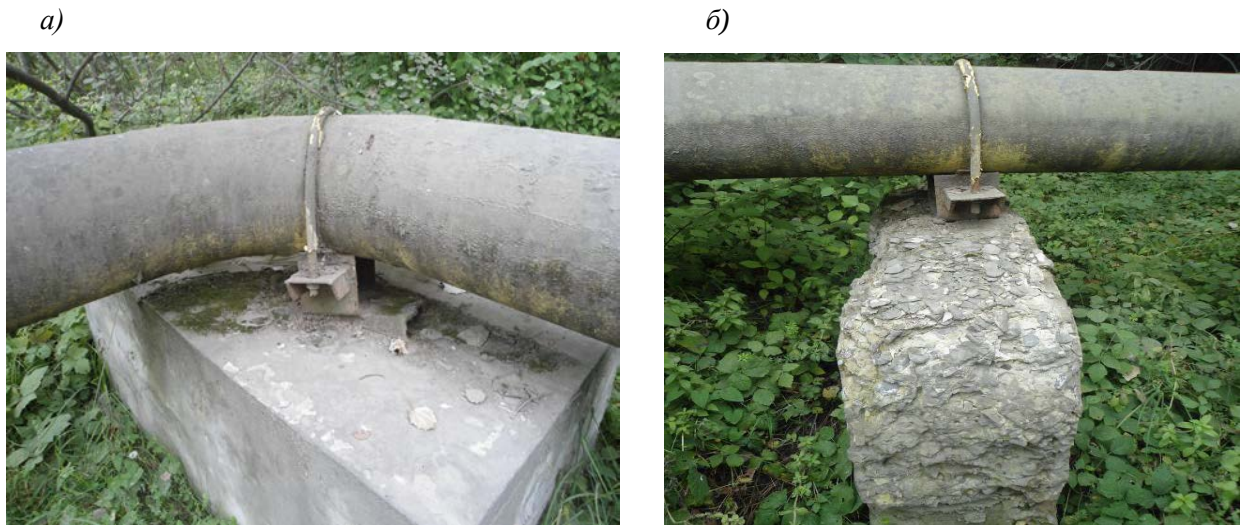


Рис. 1. Часткове руйнування опор № 1 (а) і № 3 (б) газопроводу середнього тиску від ГРС «Розвадів» до ПАТ «Миколаївцемент» – II нитка



Рис. 2. Технічний стан опори № 5 газопроводу середнього тиску від ГРС «Розвадів» до ПАТ «Миколаївцемент» – II нитка



Рис. 3. Руйнування ростверку залізобетонної опори надземного переходу МГ «Івацевичі-Долина» II нитка, Ду 1200 через р. Свіча



Рис. 4. Руйнування ростверку залізобетонної опори надземного переходу МГ «Івацевичі-Долина» II нитка, Ду 1200 через р. Свіча

Руйнування залізобетонної ділянки анкерної опори для розтяжок пілонів вантового переходу МГ «Івацевичі-Долина» II нитка, Ду 1200 через річку Дністер, який експлуатується з 1976 року наведено на (рис. 5). Таке руйнування спричиняє малоциклове навантаження. За цей час трубопровід, пілони і сталеві канати зазнають періодичного впливу різних силових факторів (льодове і снігове навантаження, зміна сили і напрямку вітру, просадка опор і поздовжні деформації канату та інші), що сприяє виникненню мало циклової втоми.



Рис. 5. Руїнування залізобетонної ділянки анкерної опори для розтяжок пілонів вантового переходу МГ «Івацевичі-Долина» II нитка, Ду 1200 через р. Дністер

Розглянуті опори (рис.1, б), та (рис. 2-5) за період тривалої експлуатації уражені деструктивними процесами руйнування бетону та корозійними процесами незворотного характеру. Наведена методика та способи ремонтно-відновлювальних робіт цих залізобетонних конструкцій. Згідно запропонованої методики необхідно застосувати ін'єкційні матеріали та технології для відновлення працездатності залізобетонних елементів опорних конструкцій МТ (Лучко, Парнета, & Назаревич, 2016).

До зон підвищеного ризику необхідно віднести ділянки МТ при надземному перетині водних перешкод (рис. 6 і 7).



Рис. 6. Вимивання ґрунту навколо буронабивної залізобетонної палі у береговій зоні надземного переходу МГ Пукеничі-Дашава Ду500 та МГ Пукеничі-Долина Ду 700 через р. Стрий



Рис. 7. Розмивання ґрунту навколо буронабивних залізобетонних паль, які встановлені у зоні русла ріки на надземному переході МГ «Івацевичі-Долина» – 3 нитка, Ду 1200 через р. Дністер

Вимивання ґрунту навколо буронабивної залізобетонної палі у береговій зоні надземного переходу МГ «Пукеничі-Дашава» Ду 500 та МГ «Пукеничі-Долина» Ду 700 через р. Стрий, які експлуатуються з 1962 року показано на (рис. 6). Крім цього необхідно враховувати можливі переміщення буронабивних залізобетонних паль під час повеней та весняного льодоходу. Зокрема, на переході МГ «Пукеничі-Дашава» через р. Стрий було підраховано, що горизонтальні переміщення оголовків паль довжиною 29 м і діаметром 1020 мм від тиску водного потоку, або льодоходу може скласти кілька десятків міліметрів. Це в свою чергу, створює значні додаткові навантаження на трубопровід, тим самим знижуючи його довговічність.

На рис. 7 наведений загальний вигляд надземного переходу МГ «Івацевичі-Долина» – 3 нитка, Ду 1200 через р. Дністер, який експлуатується з 1979 р. Перехід включає 8 паль, які об'єднані попарно залізобетонним ростверком, утворюючи 4 П-подібних опори (рис. 7). Проектна довжина паль – 27 м. Перша і четверта опори знаходяться відповідно на лівому і правому березі р. Дністер. Висота надземної частини паль опор № 1 і № 4 складає від 3 м до 4 м. Опори № 2 та № 3 знаходяться у руслі р. Дністер. Висота їх надводної частини коливається в залежності від рівня води в межах 6,0...9,0 м, у тому числі підводної частини – 4,0 м...8,0 м (рис. 7). Підводні обстеження опор

№ 2 і № 3 виявили розмив основи опори № 2 глибиною до 1,5 м.

Зменшення забуреної ділянки паль при переході МТ через водні перешкоди зменшує сумарну жорсткість опор і може спричинити їх просідання. Для забезпечення необхідної несучої здатності залізобетонних паль необхідно виконати посилення їх нижньої частини, використовуючи габійні конструкції або мішки з цементно-піщаної суміші. У вільно провисаючих трубопроводах може мати місце явище вітрового резонансу, яке ускладнюється тим, що вітрові навантаження мають подвійну дію. З одного боку, вітровий потік згинає трубопровід в напрямку своєї дії, тобто в горизонтальній площині. З іншого боку, у вертикальній площині виникають коливання, які спричинені аеродинамічними силами. Такий характер дії вітрового навантаження і пояснює необхідність перевірки трубопроводу на можливість виникнення механічного резонансу.

Аналіз результатів обстежень планово-висотного положення цього газопроводу показав, що має місце значне зміщення труби відносно котків, яке обумовлене деформаціями від зміни температурного режиму газопроводу і навколишнього середовища, а також зміни тиску газу в трубопроводі, а саме зміщення рухомої опори на надземному переході через р. Дністер МГ «Івацевичі-Долина» – 3 нитка, Ду 1200 в осьовому (рис. 8) і перпендикулярному до осі трубопроводу напрямках (рис. 9).



Рис. 8. Зміщення рухомої опори на надземному переході через р. Дністер МГ «Івацевичі-Долина» – 3 нитка, Ду 1200 в осьовому напрямку

Узагальнюючи результати обстежень розглянутого надземного переходу, слід відмітити,

що напружено-деформований стан газопроводу періодично змінюється.



Рис. 9. Зміщення рухомої опори від проектного положення на надземному переході через р. Дністер МГ «Івацевичі-Долина» – 3 нитка, Ду 1200 у перпендикулярному напрямку до осі трубопроводу

На рис. 10 наведена прямолінійна частина багатопрогонового надземного переходу трубопроводу через річку, який працює в умовах поздовжньо-поперечного згину, за наявності значної поздовжньої стискальної або розтягальної сил. Поздовжнє навантаження, що виникає на цій надземній ділянці, істотно ускладнюється умовами роботи надземного трубопроводу з підвищенням температури металу стінки труби порівняно з її температурою, при якій виконували замикаючий монтажний зварний шов (за умови позитивних температурних перепадів).



Рис. 10. Прямолінійна частина багатопрогонового надземного переходу через річку, який зазнає впливу поздовжньо-поперечного згину

На прямолінійність осі трубопроводу впливає початкова точність установки рухомих і нерухомих опор та просідання буронабивних паль під час їх тривалої експлуатації. Слід за-

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

значити, що при періодичній зміні співвідношень крапих і гірших умов експлуатації (поздовжнє і поперечне переміщення) проходить накопичення сумарного зміщення у сторону їх збільшення. Тому під час тривалої експлуатації трубопроводу з існуючої проектною, виконавчою і експлуатаційною технічною документацією необхідно враховувати початкове і реальне положення осі трубопроводу у горизонтальній і вертикальній площинах, спосіб монтажу надземного переходу, а також температуру, при якій проводили виконання замикаючого зварного з'єднання, взятої із журналу виконання зварювальних робіт.

Основною причиною утворення зазору між поверхнею металевої площини опори і ложементом проміжної опори на надземному переході МГ «Уренгой-Помари-Ужгород», Ду 1400 через р. Латориця (рис. 11) є просідання проміжної опори і переміщення трубопроводу за рахунок поздовжньо-поперечного згину.



Рис. 11. Утворення зазору між опорною поверхнею металевої площини і ложементом проміжної опори на надземному переході МГ «Уренгой-Помари-Ужгород», Ду 1400 через р. Латориця

На надземному переході МГ «Союз» через р. Саджава довжиною 112 м на усіх трьох проміжних опорах виявлено зазор між опорними поверхнями металевої пластини і сідловиною (Красовський, Ориняк, & Новіков, 2015). Таке просторове положення МГ приводить до суттєвого перерозподілу навантажень за довжиною МГ на його надземній ділянці і більш суттєвого впливу вітрового навантаження на стійкість трубопроводу.

Як показує досвід експлуатації трубопроводів, в місцях їхнього контакту з опорними конструкціями виникають корозійні процеси металевої поверхні труби і несучих елементів

опори (див. рис. 9), руйнування елементів опор та їх сповзання (рис. 12), що спричиняє поступове руйнування як опор балкових переходів, так і трубопроводу. Конструкція Г-подібних компенсаторів на надземних переходах МГ «Пукеничі-Дашава» Ду500 та «Пукеничі-Долина» Ду 700 через р. Стрий – наведена на (рис. 13). Під час тривалої роботи МГ за різних умов експлуатації відбулося зміщення рухомої опори на Г-подібному компенсаторі надземного переходу МГ Пукеничі-Дашава Ду500 через р. Стрий (рис. 13).



Рис. 12. Зміщення рухомої опори на Г-подібному компенсаторі надземного переходу МГ Пукеничі-Дашава Ду500 через р. Стрий



Рис. 13. Надземний перехід МГ «Пукеничі-Дашава» Ду500 та «Пукеничі-Долина» Ду 700 через р. Стрий (ділянка Г- подібних компенсаторів)

Схема надземного переходу МГ «Комарно-Держжордон» через р. Вишенька є статично невизначеною системою з п'ятьма зайвими в'язями. Оскільки елементи надземного переходу трубопроводу виготовлені з достатньо пластичних матеріалів (сталь марки «Ц»), то із збільшенням навантаження на конструкцію відбулося поступове виключення з роботи зайвих

© А. О. Кичма, Й. Й. Лучко, І. Б. Кравець, 2019

в'язів. Це видно з рис. 14, де внаслідок поздовжніх переміщень опора № 1 стала опиратись на один ролик. Неодноразове обстеження стану опори № 1 засвідчило, що таке положення роликів зберігається і є достатньо стабільним.



Рис. 14. Технічний стан рухомої опори надземного переходу МГ «Комарно-Держжордон» Ду700 через р. Вишенька

У випадку, коли на опорі тільки один ролик взаємодіє з площиною сідловини розрахункові контактні напруження, які виникають між роликом і нижньою поверхнею сідловини опори визначені згідно формули Герца дорівнювали 394,2 МПа. Допустиме контактне напруження для даної пари «сталь – сталь» без змащування рівне 432 МПа. Таким чином умова контактної міцності між нижньою поверхнею ложементу і одним роликом задовольняється.

На рис. 15 зафіксовано руйнування рухомої каретки з опорними роликами на надземному переході МГ «Івацевичі Долина» – 2 нитка, Ду 1200 через річку Свіча.



Рис. 15. Руйнування рухомої каретки з опорними роликами на надземному переході МГ «Івацевичі Долина» – 2 нитка, Ду 1200 через р. Свіча

Оцінку працездатності потенційно небезпечних ділянок надземних переходів проводять з позиції механіки руйнування (Панасюк, 1991), враховуючи тип та конфігурацію виявлених дефектів і одночасну дію внутрішнього тиску транспортованого продукту, сумарних згинальних моментів, поздовжньої та поперечної сил. Вирішення цієї проблеми дає змогу експлуатанцям, за встановленими методами діагностування розмірів дефекту та розрахунковими методиками, визначити максимальний рівень напружень і з врахуванням величини деградації металу труб приймати науково обґрунтоване рішення щодо потреби і об'єму виконання реабілітаційних робіт.

Технологія ремонту опорних вузлів надземних ділянок магістральних трубопроводів. З літературного огляду (Кичма, 2010; Красовський та ін., 2015; Лаус та ін., 2008; Лучко, & Кичма, 2019; Лучко та ін., 2016; Мандра та ін., 2004; Панасюк, 1991; Патон, 2015) та наведеного аналізу видно, що для трубопроводів тривалої експлуатації необхідно періодично контролювати їх технічний стан і при необхідності проводити ремонтно-відновлювальні роботи опорних вузлів балкових переходів. Як показує практика експлуатації, на важкодоступних ділянках надземних переходів трубопроводів через відсутність мобільних підймальних пристроїв ремонтно-відновлювальні роботи переважно не проводились. Оскільки вантажопідймальна техніка не може переміститися до опори балкового переходу, що знаходиться у важкодоступних місцях, наприклад, безпосередньо у руслі ріки чи на заболочених ділянках, без коштовних підготовчих робіт з облаштування під'їзних шляхів і монтажних майданчиків.

Відомий спосіб ремонту ділянок газопроводів, розташованих в колонах балкових переходів, у якому підняття ділянки трубопроводу відносно сідловини опори здійснюється за допомогою підймального пристрою, що складається з гвинтової пари і двох клинових пластин (Мандра, Беккер, Ніколаєв, Ксендзюк, та ін., 2004). Однак такий спосіб не можна реалізувати у випадку вузьких залізобетонних ростверків.

Автори патенту (Лаус, Коломєєв, Савула та ін., 2008) запропонували проведення підготовчих, ремонтно-відновлювальних і заключних

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

робіт при ремонті ділянок газопроводів, розташованих на опорах балкових переходів, за яким застосовують пневматичні подушки V68 фірми Vetter, розмірами 950×950 мм і вантажопідймальністю 67,7 т. Суттєві розміри таких подушок призвели до великих габаритів і ваги елементів металоконструкцій мобільного підймального пристрою. Це привело до необхідності додаткового застосування підймальних кранів під час виконання ремонтних робіт.

Для проведення ремонту опорних вузлів надземних переходів більш доцільно використовувати мобільне технологічне обладнання

(рис. 16), для підймання ділянок трубопроводів з пневматичними подушками V24L фірми Vetter з розмірами 310×1020 мм і вантажопідймальністю 24 т. вага окремих складових такого мобільного підймального пристрою не перевищує 20 кг (Савула, Банахевич, Зубик, Кичма, & Новіцький, 2007). Таким чином, проведення монтажних робіт запропонованого мобільного підймального пристрою не потребує додаткових підймальних кранів. Технічні характеристики розглянутого підймального пристрою наведені у праці (Кичма, 2010).

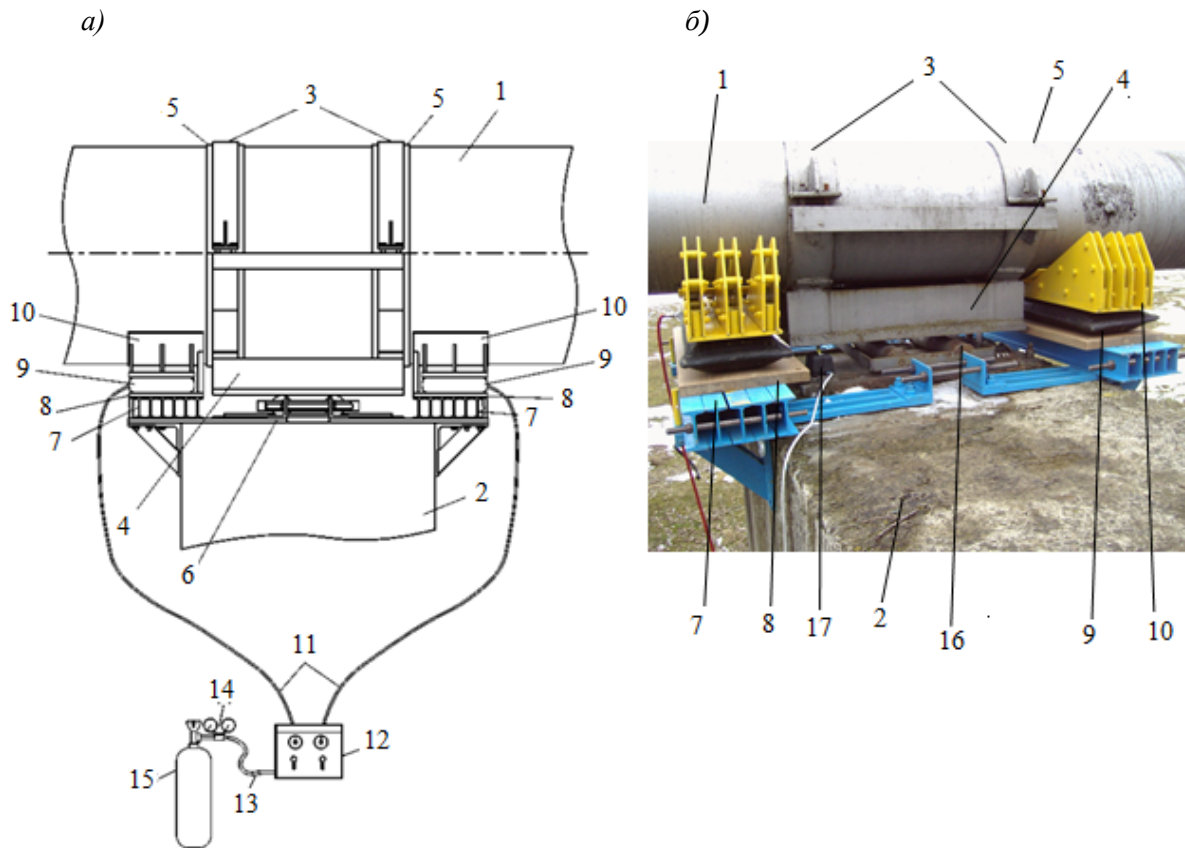


Рис. 16. Підймальна установка: *а* – принципова схема одного із варіантів технологічного обладнання для ремонту опорних вузлів трубопроводів, *б* – конструкція підймальної установки ППТ – 19

Підймання трубопроводів підймальною установкою ППТ – 19 здійснюють таким чином. Спочатку на опорі балкового переходу 2 (рис. 16) роз'єднують кріпильні хомути 3, потім симетрично до осі трубопроводу 1 монтують регулюючі кронштейни 6 і за допомогою стяжних шпильок закріплюють їх до бетонної поверхні опори балкового переходу 2. Симетрично, щодо сідловини опори 4 встановлюють переносні опорні площадки 7, що включають групу

балок осі яких перпендикулярні осям регулюючих кронштейнів 6. Балки механічно зв'язують за допомогою нарізеного з'єднання. На утворену таким чином додаткову переносну опорну площадку 7 по чергово встановлюють вирівнюючу плиту 8, пневмоподушку 9 та плиту з ложементом 10. За допомогою подвійного пульта управління 12 синхронізовано подають стиснуте в балоні 15 повітря в пневмоподушки 9 через редукційний клапан 14, шланги 11 і 13. Внаслідок

© А. О. Кичма, Й. Й. Лучко, І. Б. Кравець, 2019

док цього трубопровід 1 піднімається відносно сідловини опори 4 на обґрунтовану розрахунком безпечну висоту і демонтують ізолюючі прокладки 5. Це забезпечує доступ до поверхні трубопроводу 1, яка раніше була закрита нижнім півхомутом і ізолюючими прокладками 5. Після цього проводять заплановані діагностичні та ремонтно-відновлювальні роботи.

У результаті виконання дефектоскопії визначаються зміни форми труби і товщини стінки, механічні пошкодження, а також поверхневі дефекти такі, як тріщини, закати, забої, підриви, випучини, корозійні дефекти в місцях контакту труби з металевими опорами, раковини тощо. На основі результатів попередньої оцінки НДС МТ з використанням методу скінченних елементів і експериментальним шляхом за допомогою приладу MESTR-411 та виявлених корозійних дефектів розробляють план виконання робіт (ПВР), згідно якого проводять ремонтно-відновлювальні роботи.

Наукова новизна та практична значимість

У результаті проведених обстежень елементів опорних залізобетонних конструкцій та рухомих кареток з опорними роликами, розроблено методику проведення ремонтно-відновлювальних робіт за допомогою мобільного пристрою без припинення транспортування продукту у магістральних трубопроводах. Результати даного дослідження можна використовувати при плануванні ремонтів та обстежень магістральних трубопроводів.

Висновки

З наведених обстежень і аналізу їх результатів видно, що на безпечну роботу надземних переходів МТ тривалої експлуатації впливає багато факторів. Особливо відчутні зміни у процесі тривалої експлуатації МТ відбуваються з тілом трубопроводу і їх зварних з'єднань, з залізобетонними опорами і їх ростверками та рухомими роликовими опорами. Тому під час експлуатації таких ділянок надземних переходів МТ необхідно застосовувати комплексний підхід, який включає передові технології діагностичних обстежень, розрахунку на міцність та довговічність і нові методи проведення ремонтно-відновлювальних робіт, що дозволяє

підтримувати розглянуте обладнання у працездатному стані.

Досвід виконання ремонту опорних вузлів надземних ділянок газопроводів за допомогою мобільних підіймальних пристроїв згідно запропонованої технології показав, що при проведенні необхідних діагностичних обстежень та розрахунків і безперервному контролю технічних параметрів (висота підймання ділянки трубопроводу, тиск у пневматичних подушках, зміна напружено-деформованого стану труби) під час підймання ділянки трубопроводу і виконання ремонтно-відновлювальних робіт, можна безпечно їх проводити без припинення транспортування продукту у МТ. При цьому терміни виконання і вартість вище описаних робіт значно менша у порівнянні з традиційними технологіями ремонту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Bilobran, B. S., Dziubyk, A. R., & Yanovskyi, S. R. (2013). Influence of installation elastic bending on stress-strain state of pipeline above-ground passages in mountains. *Oil & gas industry of Ukraine*, 4, 52-58.
- Dzyubyk, A. R., Palash, V. M., Nazar, I. B., Dzyubyk, L. V., & Palash, R. V. (2016). Welding renovation of supporting units in gap-crossing structures. *Наукoвий вісник НЛТУ України*. 26.1., 230-238.
- Кичма, А. О. (2010). Технологія ремонту опорних вузлів магістральних трубопроводів. *Науково-технічна нарада ДК «Укртрансгаз»*. – Яремче. *Збірник доповідей*. 66-69.
- Красовський, А. Я., Ориняк, І. В., & Новіков, А. І. (2015). Оцінка технічного і напружено-деформованого стану конструкційних елементів магістральних газопроводів карпатського регіону України. Цільова комплексна програма НАН України *Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин*. 471-496.
- Лаус, А. І., Коломєєв, В. М., Савула, С. Ф., та інші (2008). Патент України 84855. Київ: Міністерство освіти і науки України. Державний департамент інтелектуальної власності.
- Лучко, Й. Й., & Кичма, А. О. (2019). *Розрахунок напружено-деформованого стану та моніторинг проблемних ділянок трубопроводів тривалої експлуатації*. Львів: Світ.
- Лучко, Й. Й., Парнета, Б. З., & Назаревич, Б. Л. (2016). *Методи захисту від корозії залізобетонних конструкцій і споруд*. Львів: Каменяр.
- Мандра, А. С., Беккер, М. В., Ніколаєв, В. О., Ксендзюк, С. В., та інші. (2004). Патент України 68310А. Київ: Міністерство освіти і науки Укра-

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

- їни. Державний департамент інтелектуальної власності.
- Панасюк, В. В. (1991). *Механіка квазіхрупкого руйнування матеріалів*. Київ: Наукова думка.
- Патон, Б. Є. (2015). *Цільова комплексна програма НАН України «Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин»* Збірник наукових статей за результатами, отриманими в 2013-2015 рр. Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України. Київ.
- Савула, С. Ф., Банахевич, Ю. В., Зубик, Й. Л., Кичма, А. О., & Новіцький, Я. М. (2007). Патент України 21540. Київ: Міністерство освіти і науки України. Державний департамент інтелектуальної власності.
- Харченко, Є. В., & Новіцький, Я. М. (2011). Оптимізація конструктивних параметрів мобільного підйимального пристрою для ремонту опор надземних переходів магістральних газопроводів. *Вісник національного університету «Львівська політехніка» «Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні»*, 713, 122-126.

А. А. КЫЧМА^{1*}, И. И. ЛУЧКО², И. Б. КРАВЕЦ³

^{1*} Кафедра технической механики и динамики машин, Национальный университет «Львовская политехника», ул. С. Бандеры, 12, Львов, Украина, 79013, тел. +38 (067) 782 6727, эл. почта akychma@gmail.com, ORCID 0000-0002-0339-4100

² Кафедра строительных конструкций, Львовский национальный аграрный университет, ул. В. Великого, 1, Дубляны, Украина, 80381, ORCID 0000-0002-3675-0503

³ Кафедра мостов и тоннелей, Днепровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепр, Украина, 49010, ORCID 0000-0002-2239-849X

ПРОБЛЕМЫ ОПОРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НАДЗЕМНЫХ УЧАСТКОВ НЕФТЕГАЗОПРОВОДОВ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Цель. Обобщение выявленных на основе длительных многолетних обследований состояния опорных узлов надземных участков магистральных трубопроводов (МТ). Разработка рекомендаций по минимизации влияния выявленных отклонений и повреждений элементов опорных узлов на дальнейшую безаварийную работу надземных переходов магистральных трубопроводов. **Методика.** Для достижения поставленной цели, проводилась работа по следующим направлениям: разработка рекомендаций и методики по выполнению ремонтно-восстановительных работ железобетонных конструкций; разработка рекомендаций по обеспечению необходимой несущей способности железобетонных свай и методики установки опорных роликов в проектное положение с помощью мобильного подъемного устройства без остановки работы магистральных трубопроводов. **Результаты.** На основе проведенных исследований обнаружены дефекты в опорных железобетонных конструкциях, уменьшение несущей способности свай и отклонения элементов опорных узлов от проектного положения. **Научная новизна.** Обобщены многочисленные исследования состояния элементов опорных железобетонных конструкций и подвижных кареток с опорными роликами. Разработаны методики ремонтно-восстановительных работ с помощью мобильного устройства без остановки работы магистральных трубопроводов. **Практическая значимость.** Результаты данного исследования можно использовать при планировании обследований и ремонтно-восстановительных работ магистральных трубопроводов, которые эксплуатируются. Разработанная методика ремонтно-восстановительных работ позволяет выполнять ремонт в труднодоступных местах (русла, поймы рек, заболоченная местность и др.) без применения тяжелой подъемной техники (краны, трубоукладчики и пр.). Составлена «Технологическая инструкция з поднятия магистральных газопроводов на опорах надземных переходов балкового типа при проведении ремонтных работ»

Ключевые слова: магистральные трубопроводы; переходы; инъекционные методы, опора, ролики.

А. О. KYCHMA^{1*}, J. J. LUCHKO², I. B. KRAVETS³

^{1*} Department of Technical Mechanics and Machine Dynamics, National University "Lviv Polytechnic", S. Bandera, 12, Lviv, Ukraine, 79013, tel. +38 (067) 782 6727, email akychma@gmail.com, ORCID 0000-0002-0339-4100

² Department of Building Constructions, Lviv National Agrarian University, V. Velykoho avenue, 1, Dubliany, Ukraine, 80381, ORCID 0000-0002-3675-0503

³ Department «Bridges and tunnels» of Dnipro National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan, Lazaryana Str., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, ORCID 0000-0002-2239-849X

PROBLEMS OF SUPPORTING STRUCTURES OVERPASSES SECTIONS OF OIL AND GAZ PIPELINES OF LONG-TERM OPERATION

Purpose. Generalizations of long-term surveys of the ground nodes of the overpasses sections of main pipelines (MP) which revealed on the basis of long-term surveys. Development of recommendations for minimizing the influence of detected deviations and damages of the elements of the supporting units on the further trouble-free operation of the overpasses sections of the main pipelines. **Methodology.** To achieve this goal, work was carried out in the following areas: development of recommendations and methods for performing repair and restoration works of reinforced concrete structures; development of recommendations for providing the required load-bearing capacity of reinforced concrete piles and the method of installing the supporting rollers in the design position by means of a mobile lifting device without stopping the transportation of the product in the main pipelines. **Results.** On the basis of the conducted researches defects in supporting reinforced concrete structures, reduction of bearing capacity of piles and deviation of elements of support units from the design position and corrosion damages of sections of the pipeline under half-clutches were revealed. The modeling of stress-strain state (SSS) of MP overpasses sections is carried out on the condition that the pipe is at the same time an element of the building construction, which is subjected to vertical and horizontal loads: of its own weight, changes in temperature, wind loads and of technological element that is exposed to internal pressure. The loads acting on the overpasses section of the pipeline during the repair and restoration work were taken in the most disadvantageous combinations of factors that are inherent in the process of construction and operation of the MP. The determination of the SSS of the overpasses sections pipeline crossings was carried out on the basis of the finite element method. The magnitude of the stress state of the overpasses sections of MP was determined experimentally by electromagnetic method, using the device MESTR-411. **Originality.** Numerous studies of the state of elements of supporting reinforced concrete structures and moving construction with supporting rollers have been generalized. Methods of repair and restoration works with the help of a mobile device without stopping the transportation of the product in the main pipelines have been developed. **Practical value.** The results of this study can be used in the planning of inspections and repairworks of main pipelines in operation. The developed method of repair and restoration works allows to carry out repair in difficult places (river beds and floodplains, wetlands, etc.) without the use of heaving lifting equipment (cranes, pipelayers, etc.). "Technological instruction for lifting main gas pipelines on supports of the overpasses sections during repair works" was created.

Keywords: main pipelines; overpasses sections; injection methods; support; rollers

REFERENCES

- Bilobran, B. S., Dziubyk, A. R., & Yanovskyi, S. R. (2013). Influence of installation elastic bending on stress-strain state of pipeline above-ground passages in mountains. *Oil & gas industry of Ukraine*, 4, 52-58. (in English)
- Dzyubyk, A. R., Palash, V. M., Nazar, I. B., Dzyubyk, L. V., & Palash, R. V. (2016). Welding renovation of supporting units in gap-crossing structures. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy*. 26.1., 230-238. (in English)
- Kychma, A. O. (2010). Tekhnolohiia remontu opornykh vuzliv mahistralnykh truboprovodiv. *Naukovo-tekhnichna narada DK «Ukrtranshaz»*. – Yaremche. *Zbirnyk dopovidei*. 66-69. (in Ukrainian)
- Krasovskyi, A. Ya., Oryniak, I. V., & Novikov, A. I. (2015). Otsinka tekhnichnoho i napruzhenno-deformovanoho stanu konstruktivnykh elementiv mahistralnykh hazoprovodiv karpatskoho rehionu Ukrainy. *Tsilova kompleksna prohrama NAN Ukrainy Problemy resursu i bezpeky ekspluatatsii konstruktiv, sporud ta mashyn*. 471-496. (in Ukrainian)
- Laus, A. I., Kolomieiev, V. M., Savula, S. F., ta inshi (2008). Patent Ukrainy 84855. Kyiv: Ministerstvo osvity i nauky Ukrainy. Derzhavnyi departament intelektualnoi vlasnosti. (in Ukrainian)
- Luchko, Y. Y., & Kychma, A. O. (2019). *Rozrakhunok napruzhenno-deformovanoho stanu ta monitorynh problemnykh dilianok truboprovodiv tryvaloi ekspluatatsii*. Lviv: Svit. (in Ukrainian)
- Luchko, Y. Y., Parneta, B. Z., & Nazarevych, B. L. (2016). *Metody zakhystu vid korozii zalizobetonnykh konstruktiv i sporud*. Lviv: Kameniar. (in Ukrainian)
- Mandra, A. S., Bekker, M. V., Nikolaiev, V. O., Ksendziuk, S. V., ta inshi. (2004). Patent Ukrainy 68310A. Kyiv: Ministerstvo osvity i nauky Ukrainy. Derzhavnyi departament intelektualnoi vlasnosti. (in Ukrainian)
- Panasiuk, V. V. (1991). *Mekhanyka kvazykhrupkoho razrusheniya materiyalov*. Kyiv: Naukova dumka. (in Ukrainian)

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Paton, B. Ye. (2015). Tsilova kompleksna prohrama NAN Ukrainy «Problemy resursu i bezpeky ekspluatatsii konstruktsii, sporud ta mashyn» Zbirnyk naukovykh statei za rezultatamy, otrymanymy v 2013-2015 rr. Instytut elektrozvariuvannia im. Ye.O. Patona NAN Ukrainy. Kyiv. (in Ukrainian)

Savula, S. F., Banakhevykh, Yu. V., Zubyk, Y. L., Kychma, A. O., & Novitskyi, Ya. M. (2007). Patent Ukrainy 21540. Kyiv: Ministerstvo osvity i nauky Ukrainy. Derzhavnyi departament intelektualnoi vlasnosti. (in Ukrainian)

Kharchenko, Ye. V., & Novitskyi, Ya. M. (2011). Optymizatsiia konstruktyvnykh parametriv mobilnoho pidiimalnoho prystroiu dlia remontu opor nadzemnykh perekhodiv mahistralnykh hazoprovodiv. *Visnyk natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnika» «Optymizatsiia vyrobnychych protsesiv i tekhnichniy kontrol u mashynobuduvanni»*, 713, 122-126. (in Ukrainian)

Надійшла до редколегії 24.10.2019.

Прийнята до друку 26.11.2019.