

ПРОБЛЕМИ РЕМОНТУ ОПОРНИХ ВУЗЛІВ МАГІСТРАЛЬНИХ ТРУБОПРОВОДІВ НА ПЕРЕХОДАХ БАЛКОВОГО ТИПУ

¹ Й.Л.Зубик, ² А.О.Кичма

¹ ТзОВ НВП "Інтегратор", 79013, м. Львів, вул. С.Бандери 35, тел.(0322) 389253, e-mail: integrator@ukrpost.net

² Національний університет "Львівська політехніка", 79013, м. Львів, вул. С.Бандери, 12, тел. (0322) 971364, e-mail: ak@mail.lviv.ua

Проведен аналіз відомих способів ремонту опорних вузлів магістральних трубопроводів на переходах балкового типу і проблем, що виникають при їх реалізації. Обобщая известные способы ремонта разработано, изготовлено и проведено производственные испытания комплекса технических средств и программное обеспечение для проведения ремонтно-восстановительных работ опорных узлов трубопроводов на переходах балкового типа. Представлены результаты расчетов подъемной силы и перемещений трубопровода. Предложен метод проверки прочности железобетонной опоры.

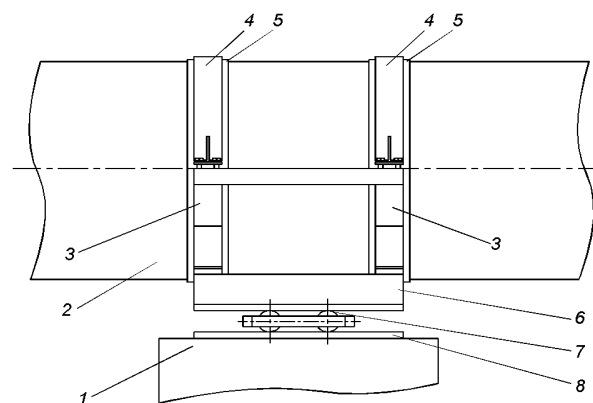
It was carried out the analysis of known methods of repair of support units of pipelines on the overpassages of beam type and problems which appear during its realization. Generalizing the known methods of repair it was developed, produced and carried out manufacturing tests of the complex of technical means and software for repair and reconstruction operations of support units of pipelines on the overpassages of beam type. Presented results of calculations for determining the lifting strength and displacement of pipeline, and suggested method of inspection durability of ferroconcrete support during the process of repair operations.

Останнє десятиріччя характеризується зростанням активності в області пошуків нових методів ремонту магістральних трубопроводів (МТ). В більшості необхідність виконання ремонтних робіт зумовлюється появою дефектів металу труб внаслідок корозії, механічних пошкоджень, розшарування і т.п. Особливо розповсюдженими і найбільш численними є корозійні дефекти, котрі в умовах "сприятливого" корозійного середовища здатні поширюватися, розвиватися і тим самим значною мірою знижувати рівень надійності експлуатації трубопроводних магістралей [1].

Відомо, що в місцях контакту трубопроводів з опорними конструкціями мають місце корозійні процеси металеві поверхні труб, які спричиняють їх поступове руйнування. При чому, це явище характерне як для лінійної частини МТ, так і для технологічних трубопроводів насосних та компресорних станцій, де в однаковій мірі є велика кількість опорних вузлів. Основною причиною корозії труб на опорах є руйнування ізоляційного шару між поверхнями труби з одного боку та кріпильних хомутів з іншого. Таке руйнування ізоляції відбувається об'єктивно внаслідок періодичних сезонних поздовжньо-поперечних переміщень трубопроводів. Крім того, більшість трубопроводних магістралей споруджено 25 і більше років тому, тобто тоді, коли ізоляційні матеріали не завжди відповідали потрібним критеріям якості.

Провести візуальний огляд та контроль параметрів технічного стану опорної ділянки трубопроводу 2 (рис. 1), що знаходиться під півхомутами 3, 4 та ізолюючими прокладками 5 і за необхідності виконати ремонтно-відновлювальні роботи можливо тільки при умові підймання ділянки трубопроводу з ложементом і сідловиною опори 6 відносно опорних котків 7.

Однак, як свідчить практика експлуатації, на важкодоступних ділянках переходів МТ через відсутність мобільних підймальних пристроїв такі роботи переважно не проводяться. 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.



1 – залізобетонний ростверк; 2 – трубопровід; 3 – півхмут нижній; 4 – півхмут верхній; 5 – ізолююча прокладка; 6 – сідловина опори; 7 – опорний коток; 8 – опорна плита

Рисунок 1 — Конструкція рухомої опори

В той же час проведення ремонту опорних вузлів МТ на переходах балкового типу вимагає особливої уваги. Відомий спосіб ремонту трубопроводів розташованих на колонах балкових переходів [2], при якому труба біля опори піднімається за допомогою вантажного крана

чи трубоукладача. Такий спосіб важко здійснити під час проведення ремонтних робіт опорних вузлів трубопроводів на заболочених ділянках і взагалі неможливо на ділянках, що пролягають в руслі ріки.

Відомий також спосіб ремонту ділянок трубопроводів, розташованих на колонах балкових переходів [3, 4], з використанням піднімального пристрою, в який входить клиновий механізм з електроприводом, редуктором і кінематичною парою гвинт-гайка. Цей спосіб не завжди можна застосувати, оскільки піднімальний пристрій встановлюють безпосередньо на опору балкового переходу строго під трубопроводом, що неможливо здійснити у випадку вузьких залізобетонних опор. Такий метод також неможливо застосувати при суттєвих осьових зміщеннях сідловини опори 6 відносно опорної плити 8 (рис. 1).

В праці [5] описана технологія ремонту опор надземних переходів магістральних газопроводів, запропонована фахівцями ДК “Укртрансгаз”, фірми “Полімерсервісмаш” та Національного університету “Львівська політехніка”. Суть технології полягає в розвантаженні трубопроводу за допомогою спеціального пристосування і пневматичної системи “Веттер”. Після демонтажу опорного вузла проводять його ремонтно-відновлювальні роботи. На жаль, вище описані способи ремонту опорних вузлів трубопроводів на переходах балкового типу не знайшли широкого практичного застосування внаслідок ряду суб’єктивних і об’єктивних причин.

Враховуючи існуючий досвід проведення ремонту опорних вузлів МТ, спеціалісти НВП “Інтегратор”, УМГ “Львівтрансгаз” і Національного університету “Львівська політехніка” розробили, виготовили і провели виробничі випробування комплексу технічних засобів і програмного забезпечення для проведення ремонтно-відновлювальних робіт опорних вузлів трубопроводів на переходах балкового типу. Запропонований комплекс технічних і метрологічних засобів включає: установку (рис. 2) для розвантаження опорного вузла і підймання ділянки трубопроводу 2 (рис. 1) з ложементом і сідловиною опори 6 відносно опорних котків 7; індикатор контролю висоти підйому ділянки трубопроводу; системи контролю напруженого стану трубопроводу в процесі зміни його положення; портативний комп’ютер (Notebook) з програмним забезпеченням для розрахунку напружено-деформованого стану (НДС) елементів опорного вузла і трубопроводу та визначення граничних технологічних параметрів (максимально допустима висота підймання та необхідний тиск в пневмосистемі піднімальної установки).

Вибір конструктивних особливостей підімальної установки передбачав дотримання таких важливих вимог, як висока технологічність монтажу та демонтажу, максимальна маса окремих елементів повинна не перевищувати 16 кг, а маса конструкції в цілому – 500 кг. При цьому вантажопідйомність установки 480 кН,



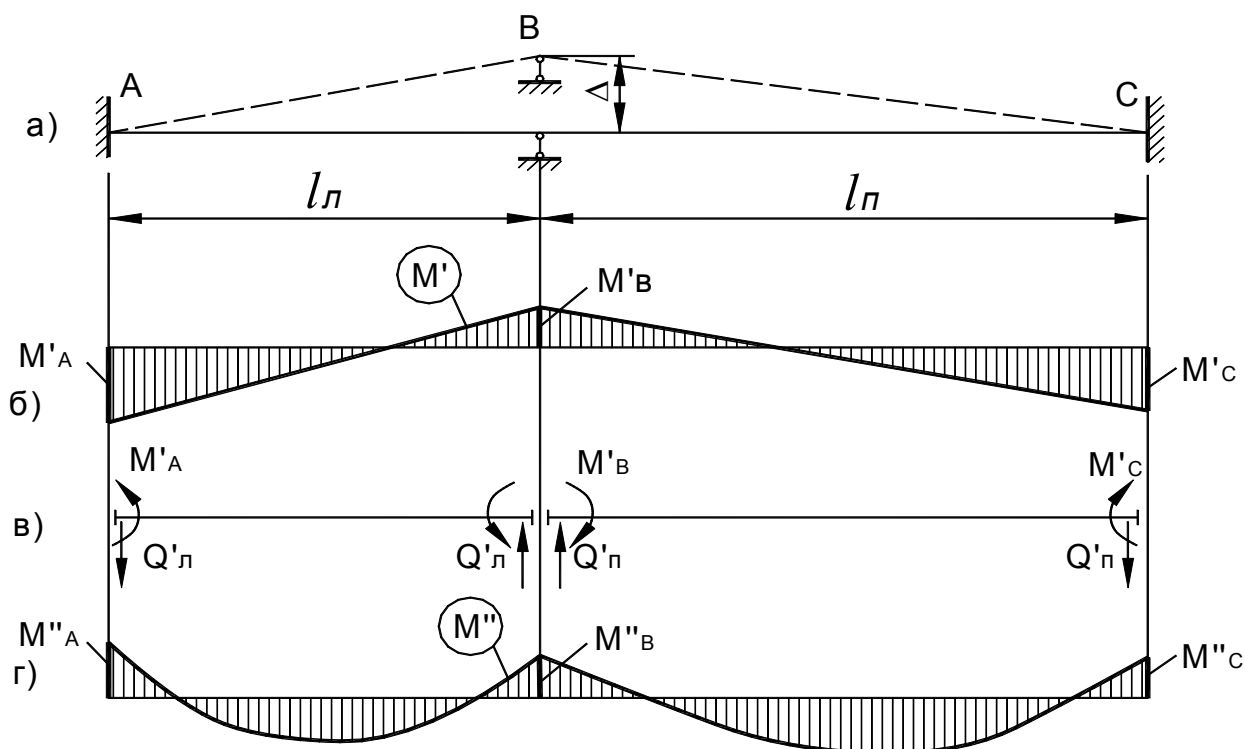
Рисунок 2 — Підймальна установка

а висота підймання 120 мм. Слід зазначити, що монтаж підімальної установки здійснювався двома монтажниками протягом 30-40 хвилин. Опора була розташована в місці з відсутнім під’їздом для підімальних механізмів, а висота опори над рівнем поверхні ґрунту складала 10 м. Форми складових елементів конструкції були підібрані таким чином, щоб передавання додаткових зусиль на трубопровід 2 (рис. 1) та на залізобетонний ростверк 1, не призвели до їх перевантаження чи руйнування.

Визначення висоти підймання трубопроводу. Для визначення міцнісних параметрів при підйманні трубопроводу на висоту Δ було прийнято розрахункову схему у вигляді нерозрізної багатопрогінної балки. На рис.3 показано тільки два сусідні прогони довжиною ℓ_L зліва та ℓ_n справа від опори В, на якій здійснюється підймання трубопроводу. Така двопрогінна схема є загальною, оскільки силові фактори, що діють за її межами не впливають на величини невідомих опорних моментів M'_A, M'_B, M'_C та невідомих поперечних сил Q'_n та Q'_n . Розглядали трубопровід при зміщенні опори В на висоту Δ . Для розрахунку використовувалося рівняння 3-х моментів, загальний вигляд якого для i -ї опори має вигляд [6]

$$\ell_i M_{i-1} + 2(\ell_i + \ell_{i+1})M_i + \ell_{i+1}M_{i+1} + 6EJ \left(\frac{\Delta_{i+1} - \Delta_i}{\ell_{i+1}} + \frac{\Delta_{i-1} - \Delta_i}{\ell_i} \right) = 0, \quad (1)$$

де: ℓ_i, ℓ_{i+1} – довжини лівого та правого прогонтів відповідно; M_{i-1}, M_i, M_{i+1} – відповідно опорні моменти для лівої, середньої та правої опор; $\Delta_{i-1}, \Delta_{i+1}, \Delta_i$ – зміщення лівої, середньої та правої опор відповідно; E – модуль пружності матеріалу трубопроводу; J – осьовий момент інерції перерізу труби.



а – розрахункова схема; б – епюра моментів тільки від зміщення; в – схема внутрішніх зусиль; г – епюра моментів від основної комбінації навантажень

Рисунок 3 — Епюри згинальних моментів для трубопроводу

Записавши рівняння (1) для кожної опори та розв'язавши отриману систему 3-х рівнянь, визначали невідомі опорні моменти M'_A , M'_B , M'_C і тим самим невідомі підймальні сили Q'_l зліва від опори В та Q'_n справа від неї

$$Q'_l = \frac{M'_B - M'_A}{\ell_l}, \quad Q'_n = \frac{M'_B - M'_C}{\ell_n}. \quad (2)$$

Тоді додаткова сила тиску на залізобетонний ригель та рівна їй за величиною і протилежна за напрямком підймальна сила P'_B , що діє на трубопровід, визначиться, як сума поперечних сил Q'_l та Q'_n

$$P'_B = Q'_l + Q'_n. \quad (3)$$

Для отримання повних опорних зусиль, а також повних зусиль в прогонах необхідно скласти епюри моментів від основної комбінації навантажень (власна вага трубопроводу, вага продукту, навантаження від зледеніння, снігу, вітру і т.п.) M'' (рис. 3, г) з епюрою моментів M' (рис. 3, б) для трубопроводу, завантаженого тільки зміщенням Δ над опорою В.

В результаті нескладних перетворень отримано наступний вираз для визначення висоти підймання Δ , яка залежить від підймальної сили P'_B

$$\Delta = \frac{P'_B \ell_n^3 \ell_l^3}{3EJ(\ell_l + \ell_n)^3}. \quad (4)$$

Результати розрахунку було перевірено за допомогою програмного комплексу SolidWorks/CosmosWorks 2006. При цьому, розрахунок виконувався методом скінченних елементів. Використовувалась сітка трикутних скінченних елементів "Shell" та твердотільних елементів "Solid". Кількість елементів – 21441, кількість вузлів – 41810.

На рис. 4 зображено результат розрахунку висоти підймання газопроводу $\varnothing 530 \times 8$ мм при підймальній силі величиною 36000 Н. Довжини прогонів: $\ell_l = 30$ м та $\ell_n = 35$ м. Висота підймання за результатами розрахунку склала $\Delta = 11$ мм.

На рис. 5 зображено графіки залежності висоти підймання трубопроводу від величини підймальної сили, отримані аналітично та з використанням пакету SolidWorks/CosmosWorks 2006. Як видно з рисунка, результати розрахунків практично співпадають.

Перевірка міцності залізобетонної опори. Важливим елементом конструкції надземного переходу є залізобетонна рамна конструкція, яка складається із буронабивних палей і ростверку. Сукупність таких рам являє собою опорну частину, на якій розміщуються трубопроводи. Під час піднімання трубопроводу виникає додаткова вертикальна сила, рівна за величиною і протилежна за напрямком підймальній силі P'_B (реакція підймальної сили P'_B). Ця сила, в свою чергу, спричинює додаткове навантаження на опорну раму, яке може

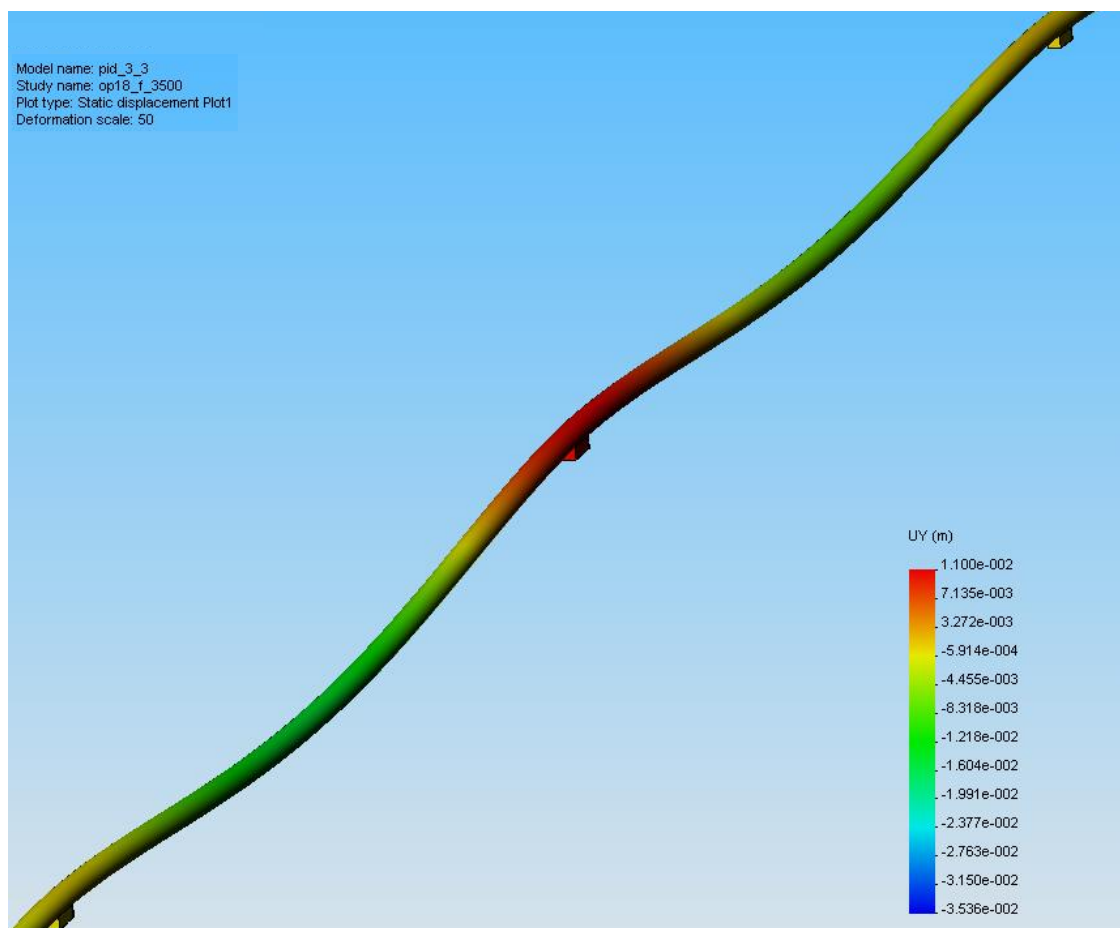
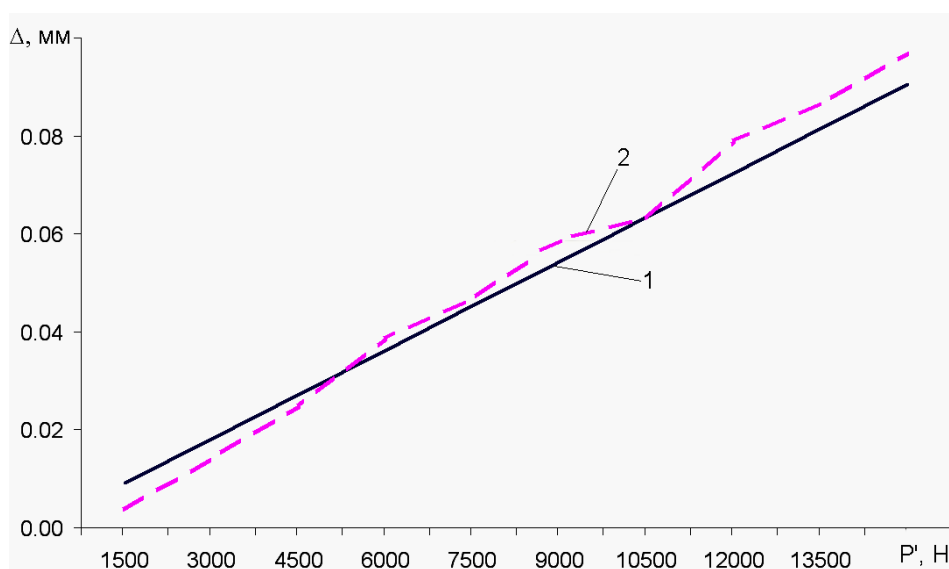


Рисунок 4 — Результати розрахунку висоти підймання трубопроводу та його деформації за допомогою SolidWorks/CosmosWorks 2006



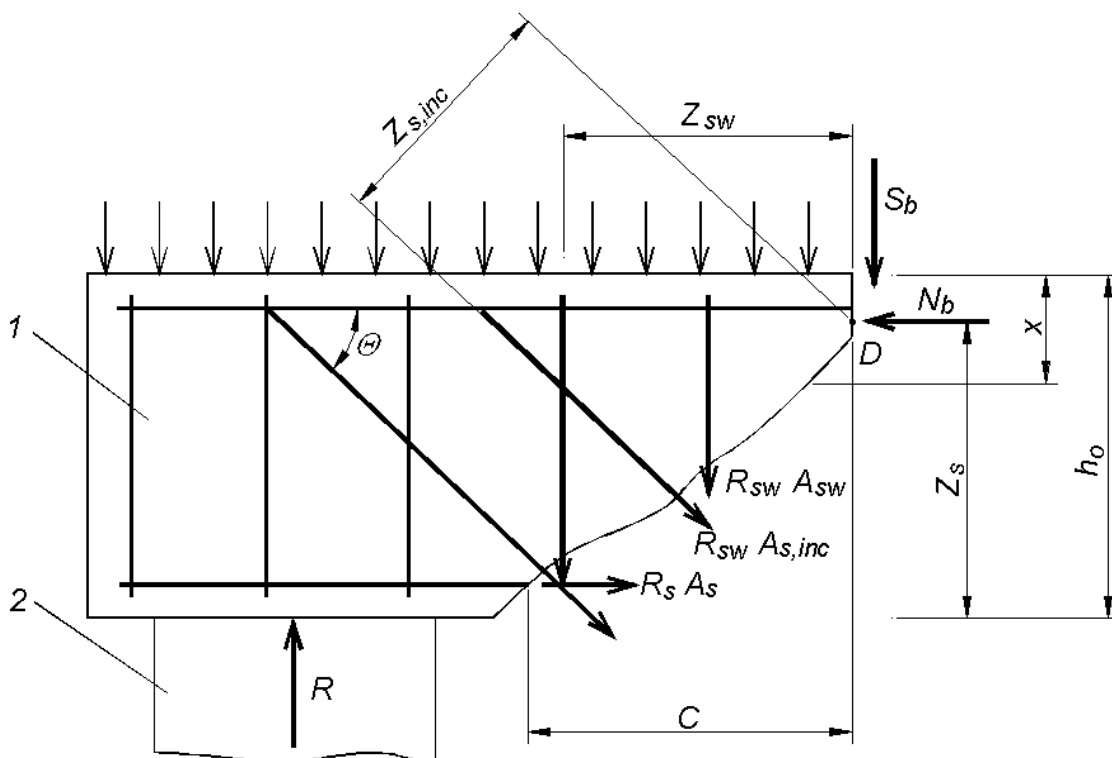
1 – залежність, отримана аналітично;
2 – залежність отримана за допомогою SolidWorks/CosmosWorks 2006

Рисунок 5 — Залежність висоти підймання трубопроводу Δ від підймальної сили P_B'

привести до локального руйнування бетону, а також появи надмірних зусиль в поздовжній та поперечній арматурі. Тому слід проводити перевірку міцності елементів рами з метою раціонального вибору конструкції підймальної

установки і тим самим недопущення руйнування залізобетону.

На рис. 6 зображена розрахункова схема для розрахунку ділянки залізобетонного ростверку. Оскільки ростверк являє собою коротку



1 – залізобетонний ростверк; 2 – буронабивна паля

Рисунок 6 — Розрахункова схема приопорної ділянки для перевірки міцності залізобетонної опори

балку за розрахункову було обрано приопорну ділянку, де діє максимальна поперечна сила. Розрахунок виконувався на міцність в похилому перерізі на дію поперечної сили Q_D та згинального моменту M_D , виходячи з умов міцності відповідно [7]:

$$Q_D \leq Q_{SW} + Q_{S,inc} + S_B, \quad (5)$$

$$M_D \leq M_S + M_{SW} + M_{S,inc}. \quad (6)$$

У формулі (5): Q_D – поперечна сила від основної комбінації навантажень в перерізі ростверку, а також опорної реакції R , що включає дію підйімальної сили P'_B , розміщених на ділянці від його кінця до точки D (центр стисненої зони бетону); Q_{SW} – сума осьових зусиль в поперечних арматурних стержнях, що перетинаються похилим перерізом; $Q_{S,inc}$ – сума проєкцій на нормаль до поздовжнього напрямку ростверку осьових зусиль в похилих арматурних стержнях, що перетинаються похилим перерізом; S_B – проєкція на нормаль до поздовжнього напрямку ростверку рівнодіючої напружень в стисненій зоні бетону.

Значення величини Q_{SW} визначали за формулами

$$Q_{SW} = \sum R_{SW} \cdot A_{SW}; \quad Q_{SW} = q_{sw} \cdot c, \quad (7)$$

де: R_{SW} – розрахунковий опір поперечної та похилої арматури; c – горизонтальна проєкція похилого перерізу; q_{sw} – погонне зусилля в по-

перечних стержнях, віднесене до одиниці довжини ростверка, яке дорівнює

$$q_{sw} = \sum R_{SW} A_{S,inc} \cdot \sin \theta, \quad (8)$$

де: A_{SW} та $A_{S,inc}$ – площі перерізів відповідно поперечного та похилого арматурних стержнів; θ – кут нахилу похилих стержнів до поздовжнього напрямку ростверка.

Значення S_B визначали за формулою

$$S_B = \varphi_{b2} R_{bt} b h_0^2 / c, \quad (9)$$

де коефіцієнт $\varphi_{b2} = 2$ (для важкого бетону); R_{bt} – розрахунковий опір бетону осьовому розтягові; b – ширина перерізу ростверка; h_0 – робоча висота перерізу ростверка.

У формулі (6): M_D – згинальний момент відносно точки D від усіх зовнішніх навантажень та опорної реакції R , яка враховує дію підйімальної сили P'_B ; M_S , M_{SW} , $M_{S,inc}$ – відповідно суми моментів відносно тієї ж точки зусиль в поздовжній, поперечній та похилій арматурі, що визначаються виразами

$$M_S = R_S A_S Z_S; \quad (10)$$

$$M_{SW} = \sum R_{SW} \cdot A_{SW} \cdot Z_{SW}; \quad (11)$$

$$M_{S,inc} = \sum R_{SW} A_{S,inc} \cdot Z_{S,inc}. \quad (12)$$

Тут R_S та A_S – розрахунковий опір та площа перерізу розтягнутої арматури; Z_S , Z_{SW} та $Z_{S,inc}$ – відстані до точки D від центрів ваги

розтягнутої, поперечної та похилої арматури відповідно.

У випадку невиконання умов міцності (5) та (6) необхідно передбачити зміцнення ростверку.

З метою недопущення локального руйнування бетону під час підймання трубопроводу ширина металевих опорних частин підймальної установки підбиралася таким чином, щоб задовольнити умову міцності бетону сколюванню [7]

$$\tau_{ск} \leq (1,5 \div 2) R_{bt}, \quad (13)$$

де $\tau_{ск}$ – сколюючі напруження в перерізі

ростверка від дії реакції підймальної сили P_B' .

Запропоновані комплекс технічних засобів і програмне забезпечення було використано в УМГ „Львівтрансгаз” під час підймання ділянок трубопроводів на опорах надземного переходу через р. Стрий МГ „Пукеничі – Дашава” Ду 500 та МГ „КЗУ-П – ДКС Опари” Ду 1000. Перед виконанням цих робіт було проведено обстеження вищезгаданих ділянок газопроводів. Визначено дійсне планово-висотне положення МГ, технічний стан зварних швів, фактичні товщини стінки трубопроводу і механічні характеристики металу труби. Також було визначено механічні характеристики бетону та перевірено міцність залізобетонних опорних конструкцій. Виконано серію розрахунків НДС трубопроводів на різних етапах їх підймання. Проведено порівняльний аналіз експериментальних та розрахункових методів. Випробовування показали, що при відповідній попередній підготовці, проведенні необхідних розрахунків і безперервному контролю технічних параметрів (висота підймання ділянки трубопроводу, тиск в пневмоподушках, зміна НДС) в процесі під-

німання, можна безпечно проводити ремонтно-відновлювальні роботи без припинення перекачування газу в МГ.

Література

1 Смоляк Т.І., Конохова О.В. Розрахунок міцності газопроводів з корозійними дефектами // Нафтова і газова промисловість. – 2005. – №4. – С. 30–33.

2 Ремонт трубопроводов бандажами и муфтами с композитным наполнением: Инструкция технологическая. – Киев: НППП Богемия, 1996.

3 Беккер М.В., Мандра А.С., Николаев В.О., Ксендзюк С.В. Технология ремонту повітряних переходів магістральних трубопроводів та методика її застосування // Інформаційний огляд ДК “Укртрансгаз”. – 2004. – №4 (28). – С. 5–6.

4 Пат. № 68310А Україна, МПК 7F16L55/18 Спосіб ремонту ділянок газопроводів, розташованих на колонах балкових переходів, без припинення перекачування газу / Мандра А.С., Беккер М.В., Николаев В.О., Томашук О.І. – Опубл. 15.07.2004, Бюл №7.

5 Дрогомирецький М.М., Смоляк Т.І., Савула С.Ф., Банахевич Ю.В., Петровський Б.С., Лаус А.І., Герасимович А.О. Технология ремонту та модернізації опор повітряних переходів магістральних газопроводів УМГ “Львівтрансгаз” // Інформаційний огляд ДК “Укртрансгаз”. – 2004. – №5 (29). – С. 15–17.

6 Киселев В.А. Строительная механика. Общий курс: Учебник для вузов. – 4-е изд. перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1996. – 520 с.

7 Байков В.Н., Сигалов Э.Е. Железобетонные конструкции. Общий курс: Учебник для вузов. – 4-е изд. перераб. – М.: Стройиздат, 1985. – 728 с.

Перша науково-технічна конференція

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ В ХІМІЇ ТА ТЕХНОЛОГІЯХ «КМХТ–2008»

м. Черкаси
(травень 2008 р.)

Оргкомітет конференції

Національний технічний університет
України „КПІ”

03056, м. Київ, пр. Перемоги, 37

тел. (044) 241 76 12

Тематика конференції:

- Комп'ютерне моделювання в хімії, комп'ютерні методи синтезу нових речовин
- Комп'ютерне моделювання хіміко-технологічних та біохімічних процесів і систем
- Комп'ютерне моделювання природоохоронних процесів
- Комп'ютерна підтримка виробничих процесів (інтелектуалізація, проектування, автоматизація)
- Комп'ютерно-інформаційні технології в багаторівневій вищій освіті