

ДЕФЕКТОСКОПІЯ В АНТАРКТИЦІ: ТЕХНІЧНЕ ДІАГНОСТУВАННЯ РЕЗЕРВУАРА РВС-200 НА УКРАЇНСЬКІЙ АНТАРКТИЧНІЙ СТАНЦІЇ «АКАДЕМІК ВЕРНАДСЬКИЙ»

Ю. М. ПОСИПАЙКО

ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України. 03680, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: posypayko@paton.kiev.ua

Описано технологічний процес діагностування вертикального сталевго резервуара РВС-200 на Українській антарктичній станції «Академік Вернадський». Наведені його конструктивні особливості, результати технічного обстеження та розрахунку статичної міцності. Висновки та рекомендації дозволяють розробляти заходи з підвищення надійності роботи резервуара. Бібліогр. 9, рис. 4.

Ключові слова: технічне діагностування, неруйнівний контроль, резервуар сталевий, розрахунок статичної міцності, корозійні пошкодження

Сталеві резервуари для зберігання нафтопродуктів, що знаходяться в експлуатації, підлягають обов'язковому технічному діагностуванню як об'єкти підвищеної небезпеки.

Повне технічне експертне обстеження резервуара передбачає проведення наступних основних робіт:

- вивчення проектної та експлуатаційної документації на резервуар;
- інструментальне обстеження стану фундаменту та основи резервуара;
- інструментальне обстеження стану металоконструкцій резервуара методами неруйнівного контролю з метою виявлення дефектів та пошкоджень у конструкційних елементах та зварних з'єднаннях;
- розрахункова перевірка статичної міцності стінки резервуара;
- оцінка технічного стану резервуара та обґрунтування його придатності для подальшої експлуатації і визначення допустимих умов експлуатації;
- визначення строку чергового технічного діагностування резервуара.

Технічне діагностування (експертне обстеження) резервуара РВС-200, встановленого на Українській антарктичній станції «Академік Вернадський» на острові Галіндез в архіпелазі Аргентинських островів (65°15' S – 64°16' W), виконано в січні–лютому 2016 р. Аналіз результатів інструментального обстеження технічного стану металоконструкцій резервуара, контролю якості його зварних з'єднань і розрахунків статичної міцності, розробка висновків та рекомендацій з подальшої експлуатації резервуара зроблені в травні–червні 2016 р. в Інституті електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України за участю фахівців з експлуатації та ремонту резервуарних

металоконструкцій канд. техн. наук Ю. П. Барвінком та канд. техн. наук А. Ю. Барвінком.

Технічне діагностування резервуара РВС-200 виконано на замовлення ДУ «Національний антарктичний науковий центр» Міністерства освіти і науки України у відповідності з вимогами наступних нормативних документів України:

- Правила технічної експлуатації резервуарів та інструкції по їх ремонту [1];
- Доповнення та зміни до Правил технічної експлуатації резервуарів та інструкції по їх ремонту [2];
- Правила технічної експлуатації та охорони праці на нафтобазах [3];
- ВБН В.2.2-58.2-94. Резервуари вертикальні сталеві для зберігання нафти і нафтопродуктів з тиском насичених парів не вище 93,3 кПа [4];
- ДСТУ-НБА.3.1-10:2008. Настанова з проведення технічного діагностування вертикальних сталевих резервуарів [5];
- ДБН В.1.2-14–2009. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ [6].

Загальна характеристика резервуара. Резервуар спроектовано ВАТ «УкрНДІпроектстальконструкція ім. В. М. Шимановського» (металоконструкції резервуара) та ВАТ «Інститут транспорту нафти» (технологічна об'язка резервуара) в 2006 р. в формі двостінного вертикального циліндра, з двома днищами і двома покрівлями, за принципом «стакан в стакані» (рис. 1, 2).

Металоконструкції резервуара виготовлені ТОВ «Кіровоградський завод технологічного обладнання», перевезено в Антарктику і змонтовано з окремих листів, з'єднаних між собою зварюванням, протягом січня–квітня 2007 р.

Геометричні параметри внутрішнього резервуара: висота стінки 5,96 м; внутрішній діаметр



Рис. 1. Загальний вид резервуара PVC-200 на УАС «Академік Вернадський»

6,63 м; товщина листів стінки і днища 5 мм; площа днища 34, 5 кв. м.

Геометричні параметри зовнішнього резервуара: висота стінки 6,58 м; внутрішній діаметр 6,96 м; товщина листів стінки 5 мм; товщина листів днища – 8 мм; відстань між стінками внутрішнього та зовнішнього резервуарів 0,16 м.

Покрівля резервуара (внутрішня і зовнішня) складається з двох щитів, які опираються на бортовий кутник стінки. Між собою щити скріплені накладним зварним з'єднанням. Товщина листів настилу покрівлі 4 мм.

Фундаментом резервуара є сім взаємно паралельних залізобетонних стрічок висотою 650 мм над кам'янистою основою, шириною 330 мм в верхній частині і 460 мм – в нижній. Довжина стрічок 8300 мм, ширина 7600 мм.

Фундамент споруджено в 1998 р. за проектом Придніпровського Промбудопроекту, а в 2004 р. було виконано його ремонт. Основою фундаменту є малотрищинувата скеля, в якій пробурені на 500 мм шпури і в них закріплені арматурні випуски – біля 30 шт. на кожній фундаментній стрічці. На поверхні стрічок є металеві закладні пластини розміром 300×200 мм. По залізобетонних стрічках, перпендикулярно їх довжині, укладено 15 сталевих балок – двотаврів № 14 (висотою 140 мм), закріплених зварюванням до закладних пластин фундаменту. Ці балки є основою днища резервуара.

Методи та пристрої інструментального діагностування резервуара. При виконанні технічного діагно-



Рис. 2. Загальний вид внутрішньої стінки резервуара

тування резервуара використані такі методи контролю:

- візуальний контроль металокопункцій та зварних з'єднань;
- інструментальний контроль металокопункцій та зварних з'єднань;
- контроль герметичності зварних з'єднань днища;
- ультразвуковий контроль товщини листів днища, стінки та покрівлі;
- вимірювальний контроль горизонтальності днища;
- вимірювальний контроль вертикальності стінки;
- розрахункова перевірка статичної міцності стінки.

При виконанні технічного діагностування резервуара використані такі інструменти, пристрої та пристрої контролю:

- лупи оглядові, вимірювальні і великого збільшення;
- штангенциркулі, лінійки, рулетки і шаблони зварних швів;
- товщиноміри ультразвукові з п'єзоелектричними перетворювачами і контрольними зразками;
- прямі і кутові вакуумні камери з вакуумметрами;
- вакуумний насос з вакуумним шлангом;
- нівелір і теодоліт з триногою та геодезичною планкою;
- засоби очищення металу (металеві щітки, шпатель, ткани серветки);
- лампи загального та місцевого освітлення;
- драбини на всю висоту стінок;
- фотоапарат.

Технічний стан зовнішнього резервуара.

Повний опис виконаних робіт та їх результати наведені в технічному звіті [7]. В цій статті ми зупинимось на їх короткому огляді.

Дві особливості характеризують конструкцію резервуара. Перша, позитивна, – дві герметичні оболонки забезпечують надійну експлуатацію резервуара в умовах екологічно вразливої Антарктики. Друга, негативна, – резервуар не має бокового люка-лазу. Його відсутність ускладнює виконання робіт у резервуарі із зачищення його від осадів, бруду, підтоварної води, діагностування та ремонту. До того ж це не відповідає умовам безпеки персоналу при виконанні робіт. «Заходити» в резервуар можна тільки з покрівлі, через світловий люк, по вертикальній драбині, привареній до внутрішньої стінки.

Резервуар споруджувався в непростих умовах. Антарктичне літо супроводжується вітрами, дощем та снігом. Температура повітря складає 0 ± 5 °С. З огляду на це загальний технічний стан резервуара є задовільним.

Стінка резервуара змонтована з листів розміром 3000×1500 мм (п'ятий пояс – 3000×620 мм) і товщиною 5 мм. Всі зварні з'єднання стикові, односторонні. З'єднання стінки з днищем – кутове, без розробки кромок.

Візуальний контроль стінки резервуара показав, що на поверхні металевих листів відсутні дефекти прокату – тріщини, розшарування, закати, задири, раковини та ін. На поверхні стінки є окремі незначні механічні пошкодження (подряпини, забої) глибиною до 0,5 мм. Корозія поверхні металу під захисним покриттям незначна, на рівні прокатної окалини. Захисне фарбове покриття стінки в основному в хорошому стані. Винятком є окремі ділянки в зоні уторного шва, де в результаті корозійних процесів фарбове покриття злушилось.

Зварні з'єднання в цілому відповідають вимогам проекту, ВБН В.2.2-58.2-94 [4] та ГОСТ 5264-80 [8]. Ширина валиків посилення шва: 12...14 мм (вертикальні шви) і 10...12 мм (горизонтальні шви), висота 1,0...2,5 мм. Катети кутового шва стінки і днища 6...8 мм.

В швах не виявлені недопустимі дефекти зварних з'єднань (поверхневі тріщини, пори, подрізи, пропалини, незаварені кратери та інші), що перевищують допустимі нормами розміри.

В зварних з'єднаннях зустрічаються окремі відхилення форми валика посилення шва, які, проте, не можуть вплинути на експлуатаційні характеристики з'єднання.

У вертикальних з'єднаннях виявлено:

– лінійні зміщення кромок до 1 мм \approx 4...5 % довжини шва;

– перевищення опуклості зварного шва \approx 4...5 %;

– бризки металу \approx 15...20 шт./п. м.

В горизонтальних з'єднаннях виявлено:

– лінійні зміщення кромок до 1 мм \approx 5...10 % довжини шва;

– перевищення опуклості зварного шва \approx 3...4 %;

– подріз переривчастий (до 0,5 мм глибиною) верхньої кромки \approx 10...20 %;

– бризки металу \approx 15...20 шт./п. м.

В кутовому з'єднанні стінки і днища виявлено: перевищення опуклості кутового шва \approx 3...5 % та бризки металу \approx 5...10 шт./п. м.

Товщина листів стінки резервуара відповідає вимогам проекту, ВБН В.2.2-58.2-94 [4] та номінальній товщині, прийнятій в проекті, і складає (5,0 + 0,2) мм.

Для виконання вимірювання горизонтальності днища та вертикальності стінки нівелір і теодолит встановлювались навколо резервуара на снігових заметах, які цього літа не обіцяли оголити скелі. Треба сказати, що всі показники горизонтальності днища та вертикальності обох стінок в межах чинних нормативів, хоч резервуар монтувався в складних погодних умовах.

Максимальне відхилення твірних резервуара від вертикалі на зовні складає + 22 мм, а в середину – 26 мм. Максимальна різниця точок нівелювання контуру днища складає всього 6 мм.

Стан днища зовнішнього резервуара можна оцінювати частково по його окрайку та видимій частині листів між фундаментними стрічками. Товщина листів окрайка 7,5...7,8 мм. Значна частина окрайка вражена рівномірною атмосферною корозією на глибину до 0,5 мм, захисне фарбове покриття в багатьох місцях відсутнє.

Окрайок днища закріплений зварюванням до кожної балки-двотавра, на які воно укладено, а балки-двотаври, в свою чергу, приварені до закладних пластин фундаменту. Днище приварено до двотаврів також між фундаментними стрічками.

Розрахункові перевірки міцності стінки.

Оцінка міцності сталевих резервуарів, що знаходяться в експлуатації, здійснюється на основі результатів їх технічного обстеження із застосуванням загальної схеми розрахунку будівельних конструкцій за граничними станами [2]. У загальному вигляді умова міцності для будь-якого конструктивного елемента записується таким чином:

$$\sigma \leq \gamma R, \quad (1)$$

де σ – розрахункова (максимально можлива) величина напружень в елементі конструкції, яка визначається відповідним розрахунком; R – допустима величина напружень для елемента конструкції; для поясів стінки зі Ст.3пс – $R = 2450$ кгс/см²; γ – коефіцієнт умов роботи, який визначається нормативними документами. Для першого та другого поясів стінки згідно ВБН В.2.2-58.2-94 [4], $\gamma = 0,6$ та $0,7$ відповідно.

Умова (1) повинна виконуватись для всіх елементів конструкції, що підлягають перевірці на міцність, і, перш за все, для стінки – головного несучого елемента резервуара.

Розрахункову величину напружень в i -му поясці циліндричної стінки резервуара визначають за формулою:

$$\sigma_i = P_i r / t_i, \quad (2)$$

де P_i – розрахунковий тиск для i -го пояса; r – радіус циліндричної стінки резервуара; t_i – товщина пояса, яка розраховується за результатом товщинометрії.

Розрахунок величини кільцевого напруження в першому та другому поясках циліндричної стінки резервуара, виходячи з фактичних товщин листів металу та при умові максимального заповнення резервуара, виконується за формулою:

$$\sigma = \frac{[(H-x)\rho n_1 + p n_2] r}{t} \leq \gamma R, \quad (3)$$

де H – висота резервуара, см; x – висота поясу, на якій кільцеві напруження досягають максимального значення.

Для першого поясу $x = 30$, для другого $x = 30 + h_1$, де h_1 – висота першого поясу; ρ – густина нафтопродукту, кг/см³, для розрахунку приймається $\rho = 0,0009$ кг/см³, що дещо перевищує фактичне значення; p – допустимий надлишковий тиск в газовому просторі резервуара; $p = 0,02$ кг/см²; n_1 – коефіцієнт надійності за гідравлічним тиском, $n_1 = 1,1$; n_2 – коефіцієнт надійності за надлишковим тиском, $n_2 = 1,2$; r – радіус резервуара, см; t – товщина 1-го (t_1) або 2-го (t_2) поясів стінки, яка розраховується за результатом товщинометрії металу.

Розрахунок товщину поясу стінки визначають як мінімальне значення з середніх значень товщини.

При розрахунку кільцевого напруження в першому та другому поясах стінки у вище наведеній формулі необхідно прийняти: $H = 658$ см, $x_1 = 30$ см, $x_2 = 180$ см, $r = 350$ см, $t_1 = 0,50$ см; $t_2 = 0,50$ см.

Розрахунок кільцевого напруження в першому (σ_1) та другому (σ_2) поясах стінки по середньому значенню товщин ($t_1 = 0,50$ см; $t_2 = 0,50$ см):

$$\sigma_1 = [1,1(658-30)0,0009 + 1,2 \cdot 0,02] 350/0,50 = 452 \text{ (кгс/см}^2\text{);}$$

$$\sigma_2 = [1,1(658-180)0,0009 + 1,2 \cdot 0,02] 350/0,50 = 348 \text{ (кгс/см}^2\text{).}$$

Як видно з розрахунку, умова міцності (1) виконується зі значним запасом:

$$\sigma_1 = 452 \text{ (кгс/см}^2\text{)} < \gamma R = 0,6 \cdot 2450 \text{ (кгс/см}^2\text{)} = 1470 \text{ (кгс/см}^2\text{);}$$

$$\sigma_2 = 348 \text{ (кгс/см}^2\text{)} < \gamma R = 0,7 \cdot 2450 \text{ (кгс/см}^2\text{)} = 1715 \text{ (кгс/см}^2\text{).}$$

За результатами нівелювання зовнішнього контуру днища визначено параметр ΔU_k , що характеризує нерівномірність осідання, та Θ_k , що характеризує загальний крен резервуара [2].

Параметр ΔU_k визначається для кожної контрольної точки за формулою:

$$П\Delta U_i = U_i - 0,5(U_{i+1} + U_{i-1}), \quad (4)$$

де U_i – позначка i -ї точки, що розглядається; U_{i+1} та U_{i-1} – позначки сусідніх точок відповідно праворуч та ліворуч від тієї, що розглядається.

Значення параметра ΔU_i нерівномірності осідання днища для порожнього резервуару типу РВС-200 відповідає вимогам ВБН В.2.2-58.2-94 [4], і складає 4, а його допустиме значення – 40.

Параметр Θ_k визначається за формулою:

$$\Theta_k = \frac{1}{R} \sqrt{b_k^2 + c_k^2}, \quad (5)$$

$$\text{де } b_k = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n U_i \cos \varphi_i; \quad (6)$$

$$c_k = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n U_i \sin \varphi_i; \quad (7)$$

φ_i – полярний кут i -ї точки; n – загальна кількість контрольних точок; R – радіус резервуара.

Значення параметра Θ_k загального крену для порожнього резервуара відповідає вимогам ВБН В.2.2-58.2-94 [4] і складає 0,0004, а його допустиме значення – 0,006.

Технічний стан внутрішнього резервуара.

Стінка внутрішнього резервуара відрізняється тим, що зварні з'єднання виконані з повним проплавом, з двох сторін, оскільки ця стінка монтувалась першою. Вона вкрита осадом – парафіном, що утворився під час зберігання дизельного пального (рис. 2).

Візуальний контроль стінки резервуара показав, що на поверхні листів та в зварних з'єднаннях відсутні недопустимі дефекти. Ширина валиків посилення шва: 12...14 мм (вертикальні шви) і 10...12 мм (горизонтальні шви), висота 1,0...2,5 мм.

В зварних з'єднаннях зустрічаються окремі відхилення форми валика посилення шва, які, проте, не можуть вплинути на експлуатаційні характеристики з'єднань. У вертикальних з'єднаннях виявлено лінійні зміщення кромки до 1 мм \approx 2...4 % довжини шва, перевищення опуклості зварного шва \approx 4...6 %, бризки металу \approx 10...20 шт./м. В горизонтальних з'єднаннях виявлено лінійні зміщення кромки до 1 мм \approx 5...10 % довжини шва, перевищення опуклості зварного шва \approx 2...4 %, підріз переривчастий (до 0,5 мм глибиною) верхньої кромки \approx 10...20 %, бризки металу \approx 15...20 шт./м. В кутовому з'єднанні стін-

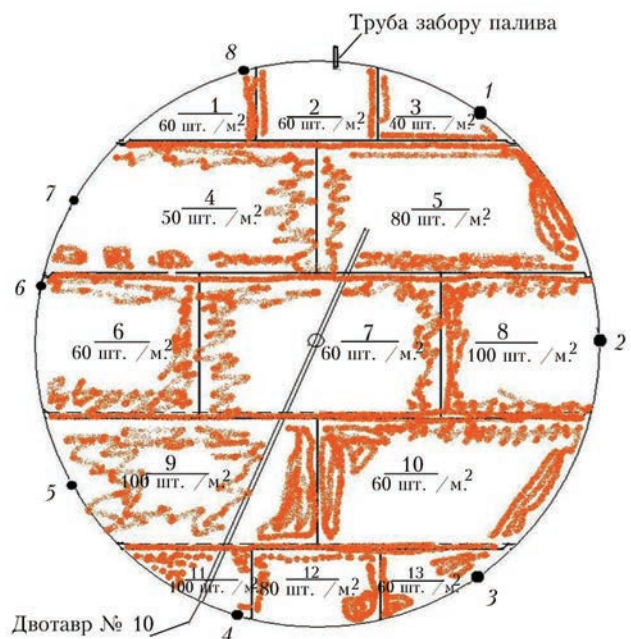


Рис. 3. Схема корозійних пошкоджень днища внутрішнього резервуара



Рис. 4. Загальний вид корозійних пошкоджень днища

ки і днища виявлені перевищення опуклості кутового шва $\approx 3 \dots 5 \%$, бризки металу $\approx 5 \dots 10$ шт./м.

Вертикальність стінки внутрішнього резервуара виміряна за допомогою виска, що закріплювався під покрівлю П-подібним магнітом та приставної драбини на всю висоту стінки. Максимальне відхилення твірних стінки від вертикалі на зовні складає $+ 38$ мм, а в середину – 31 мм. Максимальна різниця точок нівелювання контуру днища складає всього 6 мм.

Днище внутрішнього резервуара виготовлено із сталевих листів, товщиною $5,0 \dots 5,2$ мм. Листи зібрані в полоси стиковими зварними з'єднаннями, а між собою полоси з'єднані в наклад.

Зовнішній огляд та візуальний контроль днища резервуара показали, що поверхня металевих листів та зварні з'єднання вражені язвовою корозією глибиною до $2,0$ мм. Корозійні язви різ-

ної глибини згруповані на окремих ділянках площею $10 \dots 20$ см² і розкидані по листах переважно вздовж зварних з'єднань.

Схема корозійних пошкоджень днища резервуара показана на рис. 3.

Загальний вид корозійних пошкоджень днища показано на рис. 4.

Контроль герметичності зварних з'єднань днища виконано з метою виявлення наскрізних пошкоджень – течей. Контроль герметичності виконано методом вакуумування [9]. При цьому використані вакуумні камери, розроблені та виготовлені ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України (проект НК-175) та вакуумний насос 2НВР-1Д. Течі в зварних швах не виявлені.

На покрівлі резервуара встановлені замірний люк DN150, неприморзаючий мембранний дихальний клапан DN100, клапан запобіжний гід-

равлічний DN100 та два світлових люка діаметром 600 мм, один з яких виконує роль люка-лазу.

В днищі резервуара між стрічками фундаменту встановлено патрубков з вентилям для спуску підтоварної води з резервуара та патрубков з вентилям для спуску води, що конденсується в міжстінному об'ємі резервуара.

Висновки та рекомендації

Аналіз результатів експертного обстеження технічного стану резервуара RVC-200, розташованого на Українській антарктичній станції «Академік Вернадський», дозволяє зробити наступні висновки.

Статична міцність стінки зовнішнього та внутрішнього резервуарів, днище та покрівля зовнішнього резервуара відповідає проекту та діючим нормативам. Всі елементи резервуара (за виключенням днища внутрішнього резервуара) мають задовільний технічний стан, що характеризується незначними відступами від вимог проекту, чинних норм на проектування, виготовлення і монтаж резервуара, які не впливають на його працездатність. Це дозволяє продовжити експлуатацію резервуара RVC-200 до 1.06.2019 р. за умови виконання заходів по зупиненню корозійних процесів на днищі внутрішнього резервуара.

Конструктивним елементом резервуара, який отримав найбільше пошкодження в процесі експлуатації у вигляді язвової корозії, є днище внутрішнього резервуара. Язвова корозія спостерігається практично по всьому днищу глибиною до 2,0 мм, що складає до 40 % проектної товщини. Корозійні язви глибиною 1,0...1,5 мм є також в зварних з'єднаннях. Корозійні язви різної глибини згруповані на окремих ділянках площею 10...20 см² і розташовані на поверхні листів переважно вздовж зварних з'єднань.

Враховуючи, що норматив відбракування днища при його корозійному враженні складає 50 % від номінальної товщини, технічний стан внутрішнього днища можна характеризувати як близький до критичного через високу ймовірність подальшого розвитку корозійних процесів.

Резервуар RVC-200, враховуючи його місцезнаходження, відноситься до вищого класу небезпеки ССЗ як об'єкт для зберігання екологічно небезпечних речовин. Термін його експлуатації

повинен складати не менше 40 років [6]. З точки зору експлуатаційної довговічності слід значну увагу приділити зупиненню корозійних процесів листів днища внутрішнього резервуара.

Для зупинення корозійних процесів необхідно розробити проектну документацію та виконати улаштування поверх існуючого днища нового захисного днища з аустенітної корозійностійкої листової сталі товщиною не менше 2,5 мм.

Слід вирішити питання влаштування люка-лазу в першому поясі резервуара згідно проекту, що дозволить підвищити безпеку виконання робіт в резервуарі та покращити умови його експлуатації.

Необхідно нанести захисне покриття на ділянки з рівномірною атмосферною корозією, що виявлені на зовнішній стінці в уторній зоні, на крайку зовнішнього днища, на листах покрівлі, на несучих балках-двотаврах, які є основою резервуара.

Необхідно нанести захисне покриття на залізобетонні стрічки фундаменту резервуара.

Вказаний термін експлуатації резервуара – до 1.06.2019 р., після виконання ремонту у відповідності до рекомендацій буде переглянуто з метою його продовження та призначене чергове діагностування. У разі непроведення ремонтних робіт до 01.06.2019 р. резервуар повинен бути виведений із експлуатації.

1. Правила технічної експлуатації резервуарів та інструкції по їх ремонту. – М.: Недра, 1988. – 264 с.
2. Доповнення та зміни до «Правил технічної експлуатації резервуарів та інструкцій по їх ремонту». – К.: УО «Українафтопродукт», 1997. – 121 с.
3. Правила технічної експлуатації та охорони праці на нафтобазах. – К.: УО «Українафтопродукт», 1998 – 220 с.
4. ВБН В.2.2-58.2-94. Резервуари вертикальні сталеві для зберігання нафти і нафтопродуктів з тиском насичених парів не вище 93,3 кПа. – К.: Держкомнафтогаз, 1994. – 98 с.
5. ДСТУ-Н Б А.3.1-10:2008. Настанова з проведення технічного діагностування вертикальних сталевих резервуарів. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 14 с.
6. ДБН В.1.2-14-2009. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 32 с.
7. Технічний звіт (експертний висновок) про технічний стан резервуара RVC-200, встановленого на Українській антарктичній станції «Академік Вернадський». – К.: ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН Укаїни, 2016. – 59 с.
8. ГОСТ 5264-80. Ручне дугове зварювання. З'єднання зварні. Основні типи, конструктивні елементи та розміри.
9. ГОСТ 3242-79. З'єднання зварні. Методи контролю якості.

Technology of diagnostics of vertical steel tank RVC-200 in Ukrainian Antarctic station «Akademik Vernadskii» is described. Its design features, results of technical examination and static strength analysis are given. These conclusions and recommendations allow developing measures to improve the reliability of tank operation.

Keywords: technical diagnostics, nondestructive testing, steel tank, static strength analysis, corrosion damage.

Надійшла до редакції
21.10.2016