

© П.Г. Дригулич  
канд. геол. наук  
ПАТ «Укрнафта»

## Дослідження методів дезактивації насосно-компресорних труб, забруднених природними радіонуклідами

УДК 614.75:622

*У статті проаналізовано проблемні аспекти поводження з матеріалами, забрудненими природними радіонуклідами, розглянуто методи механічного та гідродинамічного очищення НКТ від мінеральних відкладень із NORM та запропоновано подальший напрям досліджень.*

**Ключові слова:** радіаційна безпека, потужність експозиційної дози, щільність потоку  $\alpha$  і  $\beta$ -частинок, мінеральні відкладення, природні радіонукліди, насосно-компресорні труби, нафтопромислове обладнання.

*В статті проаналізовані проблемні аспекти оброблення матеріалами, забрудненими природними радіонуклідами, розглянуто методи механічної та гідродинамічної очистки НКТ від мінеральних відкладень із NORM та запропоновано подальше напрям досліджень.*

**Ключевые слова:** радиационная безопасность, мощность экспозиционной дозы, плотность потока  $\alpha$  и  $\beta$ -частиц, минеральные отложения, природные радионуклиды, насосно-компрессорные трубы, нефтепромышленное оборудование.

*The problems associated with handling of materials contaminated by natural radionuclides are analysed in the article. The method of mechanic and hydrodynamic cleaning of tubing from mineral deposits with NORM and offers further research direction are considered.*

**Key words:** radiological safety, exposure dose rate,  $\alpha$  and  $\beta$  particles fluence rate, mineral deposits, radionuclides of natural origin, tubing, oil industry equipment.

У кінці минулого століття у більшості країн світу й в Україні зокрема намітилася нова проблема, пов'язана із забрудненням нафтопромислового обладнання та довкілля нафтогазовидобувних регіонів природними радіонуклідами – радієм, торієм та калієм. Першими науковцями, які з метою захисту працівників і довкілля та розроблення ефективних технологій дезактивації нафтопромислового обладнання і особливо насосно-компресорних труб почали займатися вивченням цієї проблеми в Україні, були В.О. Шумлянський, А.Г. Субботін, А.Х. Бакаржєв, М.Ю. Журавель та ін. [1]. Значним внеском у вивчення проблеми радіаційної безпеки стали наукові дослідження А. М. Сердюка, І. П. Лося, А.В. Матюшка, О.Д. Саргош, О.С. Загорюлька, О.В. Катрушова, С.А. Іванова, Т.О. Павленко та багатьох інших [2–6]. Однак лише окремі наукові публікації стосуються проблем нафтогазової галузі України (НГУ) та природних радіонуклідів, опромінення працівників галузі, і на сьогодні не вирішують проблеми зменшення обсягів накопичення та безпечного поводження з ними.

Упродовж тривалої експлуатації обладнання, зокрема у ПАТ «Укрнафта», стає непридатним для подальшого використання, а деякі матеріали – забрудненими техногенно-підсиленими джерелами іонізуючого випромінювання природного походження (ТПДПП), а згідно з міжнародною класифікацією: природними радіоактивними речовинами – «Naturally-Occurring Radioactive Materials» (NORM). Зазначене обладнання та матеріали зберігаються на спеці-

ально облаштованих майданчиках тимчасового зберігання структурних одиниць Товариства. До 2011 р. Товариство співпрацювало з Державними спеціалізованими підприємствами (ДСП) «Комплекс» та «Харківський державний міжобласний спецкомбінат» Корпорації УДО «Радон» (ДСП ХДМСК), які на договірній основі брали на зберігання та захоронення непридатні до використання обладнання та матеріали, забруднені NORM. Через переповнення складу на пункті захоронення радіоактивних відходів (ПЗРВ) ДСП ХДМСК та відмову ДСП «Комплекс» (у зв'язку із заборонаю відповідних державних органів) надання послуг із приймання матеріалів та обладнання, забрудненого NORM, було призупинено.

Позиція Державної інспекції ядерного регулювання (ДІЯР) до певної міри зрозуміла і полягає в тому, що ДСП не мають технічних та технологічних можливостей для переробки (дезактивації, поводження з вторинними радіоактивними відходами (РАВ), переведення у твердий стан рідких відходів тощо) матеріалів і відходів, забруднених NORM, що накопичені на майданчиках спеціалізованих підприємств по поводженню з РАВ (рис. 1).

Натомість на підприємствах НГУ забруднене обладнання накопичується у значних обсягах (рис. 2). Ситуацію жодним чином не врегульовано вже декілька років. Через страх населення перед «радіацією» соціальна напруженість у місцях їх тимчасового зберігання зростає. Тому необхідно терміново розробити та впровадити на практиці ефективну

Таблиця 1

Динаміка надходження та дезактивації партій НКТ механічним способом

| Дата проведення робіт | Маса партії НКТ, яку направляли на дезактивацію, кг | Активність партії, Бк     | Дезактивовано, кг | Кількість дезактивованих фрагментів, од. | Не піддалося дезактивації, кг | Маса вторинних РАВ, кг | Активність вторинних РАВ, Бк |
|-----------------------|---|---------------------------|-------------------|--|-------------------------------|------------------------|------------------------------|
| 10.10.12–20.12.12     | 720   | 1,2·10 <sup>5</sup>       | 226               | 23                                       | 494                           | 2                      | 3,8·10 <sup>4</sup>          |
| 25.12.12–29.04.13     | 10 972  | 1,8·10 <sup>6</sup>       | 10 394            | 1 156                                    | 490                           | 88                     | 9,7·10 <sup>5</sup>          |
| 01.11.13–11.12.13     | 10 124  | 1,7·10 <sup>6</sup>       | 8 832             | 864                                      | 1196                          | 96                     | 1,2·10 <sup>6</sup>          |
| 01.09.13–31.10.13     | 13 620  | 2,3·10 <sup>6</sup>       | 12 240            | 1 226                                    | 1192                          | 92                     | 1,0·10 <sup>6</sup>          |
| <b>Всього</b>         | <b>35 436</b>                                       | <b>5,9·10<sup>6</sup></b> | <b>31 692</b>     | <b>3 269</b>                             | <b>3 372</b>                  | <b>278</b>             | <b>3,2·10<sup>6</sup></b>    |

й екологічно безпечну технологію очищення НКТ та обладнання від природних радіонуклідів, що призведе до зменшення навантаження на персонал, населення і довкілля та мінімізує витрати на їх розміщення чи захоронення.

У світі використовують різноманітні методи дезактивації НКТ, а саме: пневмовіброочищення, установки індукційного нагріву, гідрокавітаційні установки, переплавку на металургійних комбінатах, захоронення тощо [7]. Значна частина зазначених методів є неефективними та енергозатратними.

В Україні є чимало теоретичних розробок і дослідних зразків установок для дезактивації обладнання від NORM, але, на жаль, запатентованих та впроваджених на практиці технологій не існує. На сьогодні підприємства нафтогазового комплексу не в змозі вирішити цю проблему самостійно без підтримки державних органів.

З метою розроблення технологій із дезактивації НКТ фахівці ДСП ХДМСК відповідно до ліцензії № ОВ 000949, виданої 09.02.11р. ДІЯР України, самостійно здійснюють експериментальні роботи. Дослідження проводять на майданчику, обладнаному у корпусі спалювання горючих рідких радіоактивних відходів, який за призначенням ніколи не використовувався. Дезактивація здійснюється методом механічного видалення з внутрішніх і зовнішніх поверхонь НКТ відкладень із NORM. Установку виконано на базі токарно-гвинторізного верстата ДПП-300 із використанням штатної вентиляційної системи, якою оснащено корпус спалювання. Динаміку надходження та дезактивації партій НКТ наведено в табл. 1.

Радіаційний і дозиметричний контроль здійснювала служба радіаційної безпеки ДСП ХДМСК. При цьому необхідно зазначити, що радіаційні поля і радіоактивне забруднення досить неоднорідні по поверхні труби. Переважна більшість НКТ має суцільне забруднення внутрішніх поверхонь мінеральними відкладеннями з NORM низької активності. Окремі фрагменти труби мають лише поодинокі плями радіоактивного забруднення розмірами 10÷20 см. Статистичні дані радіаційних параметрів фрагментів НКТ наведено в табл. 2 та 3.

Вимірювання щільності потоку (ЩП)  $\alpha$ -частинок виконували за допомогою приладу ДКС-96 із детектором БДЗА-96т також і всередині фрагментів НКТ шляхом протягування детектора крізь трубу. У переважній більшості фрагментів значення ЩП не перевищують 10 част·см<sup>-2</sup>·хв<sup>-1</sup> за максимального значення 110 част·см<sup>-2</sup>·хв<sup>-1</sup> для декількох екземплярів.

Під час проведення експериментальних робіт дев'ять фрагментів НКТ після процедури дезактива-

ції розпиляно в повздовжньому напрямку, а їх внутрішню поверхню обстежено візуально й здійснено додатковий радіаційний контроль. Цим було підтверджено, що критерії звільнення від радіаційного контролю, погоджені з ДІЯР, цілком задовольняються, при цьому всі мінеральні відкладення видаляти необов'язково, а лише ті, що містять NORM. Станом на 01.02.14 у результаті проведення експериментальних робіт дезактивовано 31 692 кг НКТ (3 269 фрагментів) (рис. 3). Ці труби пройшли державну процедуру зняття з регулюючого контролю відповідно до вимог НП 306.4.159-2010, що підтверджено офіційним рішенням ДІЯР.

Фахівцями ПАТ «Укрнафта» спільно з ДСП «ХДМСК», Державною екологічною академією післядипломної освіти та управлінням Міністерства екології та природних ресурсів України, а також за участю представника Армавірського механіко-технологічного інституту (філія Кубанського державного технологічного університету, РФ) на виконання погодженої спільної Програми 15.08.2013 р. на території ПЗРВ ДСП «ХДМСК» проведено випробовування експериментальної установки та технології гідродинамічного очищення відпрацьованих НКТ і нафтопромислового обладнання, забруднених NORM. Очищенню підлягали труби НКТ, що знаходилися у сховищі ДСП «ХДМСК», а також труби та обладнання, надані НГВУ «Охтирканафтогаз». Радіаційний контроль на всіх етапах здійснювала служба радіаційної безпеки та охорони навколишнього середовища ДСП «ХДМСК» дозиметром-радіометром МКС-АТ 1117М.

Експериментальна установка з гідродинамічного очищення НКТ конструктивно складається з трьох блоків: насосного агрегату високого тиску (ACF-700); гідродинамічного пістолета, рукавів високого тиску та спеціальних насадок; емності з водою і системою очищення робочої рідини. Для проведення досліджень використовували водопровідну воду без рециркуляції. Для стаціонарної установки промислового очищення НКТ необхідно передбачити замкнений цикл використання робочої рідини: зберігання, очищення та регенерацію робочої рідини.

У процесі проведення досліджень використовували фрагменти НКТ завдовжки до 1,3 м, які закріплювали на стелажі.

Таблиця 2

Діапазон значень потужності експозиційної дози фрагментів НКТ

| Діапазон значень ПЕД на відстані 0,1 м, мкР/год   | 0,30–1,0 | 1,0–3,0 | 3,0–5,0 | 5,0–7,0 | 7,0–9,0 | >9,0 |
|---|----------|---------|---------|---------|---------|------|
| Кількість фрагментів, шт.                         | 2935     | 283     | 22      | 15      | 11      | 3    |
| % по відношенню до загальної кількості фрагментів | 90,0     | 8,6     | 0,6     | 0,4     | 0,3     | 0,1  |

Таблиця 3

Діапазон значень щільності потоку  $\beta$ -частинок фрагментів НКТ

| Діапазон значень ЩП $\beta$ -частинок на відстані 0,1 м, част.см <sup>-2</sup> .хв <sup>-1</sup> | 30–100 | 100–300 | 300–500 | 500–800 | 800–1000 | 1000–2000 | >2000 |
|--|--------|---------|---------|---------|----------|-----------|-------|
| Кількість фрагментів, шт.  | 67     | 2 761   | 181     | 77      | 70       | 100       | 13    |
| % по відношенню до загальної кількості фрагментів  | 2,0    | 84,5    | 5,5     | 2,4     | 2,2      | 3,0       | 0,4   |

Таблиця 4

Результати радіаційного контролю зразків НКТ і обладнання до та після їх гідродинамічного очищення

| Стадія експерименту   | Радіаційні характеристики   |         |  |         |                            |         |
|---|---|---------|--|---------|----------------------------|---------|
|   | щільність потоку $\alpha$ -частинок, (част.см <sup>-2</sup> .хв <sup>-1</sup> ) |         | щільність потоку $\beta$ -частинок, (част.см <sup>-2</sup> .хв <sup>-1</sup> ) |         | ПЕД, (мкР/год)             |         |
|   | лівого/правого боку зразка  | середня | лівого/правого боку зразка   | середня | лівого/правого боку зразка | середня |
| <b>Зразок 1: труба НКТ завдовжки 1,1 м (сховище «ХДСМК»)</b>                      |   |         |  |         |                            |         |
| До дезактивації   | 3/14  | 8,5     | 5600/5900  | 5750    | 200/400                    | 300     |
| Після дезактивації  | 0,7/0,9   | 0,8     | 300/800  | 550     | 10/39                      | 25      |
| <b>Зразок 2: труба НКТ завдовжки 1,0 м (сховище «ХДСМК»)</b>                      |   |         |  |         |                            |         |
| До дезактивації   | 13/14   | 14      | 3800/3400  | 3600    | 120/110                    | 115     |
| Після дезактивації  | 0,3/0,7   | 0,5     | 8/12   | 10      | 16/18                      | 17      |
| <b>Зразок 3: засувка ЗКЛ ДУ-100 (НГВУ «Охтирканафтогаз»)</b>                      |   |         |  |         |                            |         |
| До дезактивації   | 0,6/1,4   | 1,00    | 1000/740   | 870     | 120/98                     | 109     |
| Після дезактивації  | 0,2/0,3   | 0,25    | 115/35   | 75      | 25/15                      | 20      |
| <b>Зразок 4: труба НКТ завдовжки 1,3 м (НГВУ «Охтирканафтогаз»)</b>               |   |         |  |         |                            |         |
| До дезактивації   | 0,8/3,0   | 1,90    | 460/2300   | 1380    | 56/150                     | 103,00  |
| Після дезактивації  | 0,3/0,6   | 0,45    | 4/6  | 5,00    | 12/14                      | 13,00   |
| <b>Зразок 5: обсадна труба Ø168 мм завдовжки 1,25 м із корпусу зберігання НКТ</b> |   |         |  |         |                            |         |
| До дезактивації   | 0,0/0,0   | 0,0     | 45/170   | 107,50  | 22/27                      | 24,50   |
| Після дезактивації  | 0,0/0,0   | 0,0     | 8/15   | 11,50   | 9/12                       | 10,50   |

Оператор уводив до НКТ гідродинамічну насадку, встановлену на високонапірній штанзі. Від насосного агрегату через рукав високого тиску, гідродинамічний пістолет, високонапірну штангу і насадку подається робоча рідина – технічна водопровідна вода без додавання хімічних та абразивних реагентів. Використовували такі техніко-технологічні параметри: робочий тиск 20,0–50,0 МПа; подача 4,5–6 м<sup>3</sup>/год; середня швидкість очищення – 1 п м/хв. З іншого кінця труби, яку очищують, робоча рідина та видалені відкладення надходять у фільтр грубої очистки (з товщиною очищення до 0,5 мм). Воду після такого очищення зливали до спеціального резервуара загальним об'ємом 0,85 м<sup>3</sup>.

Під час дезактивації трьох фрагментів НКТ Ø 73,0 мм і довжиною 1,0–1,3 м, одного фрагмента обсадної труби Ø 168 мм і довжиною 1,25 м та засувки ЗКЛ ДУ-100 отримано:

2,01 кг твердих механічних домішок (мінеральних відкладень) зі щільністю потоку  $\beta$ -часток 1500 част.см<sup>-2</sup>.хв<sup>-1</sup> і потужністю експозиційної дози (ПЕД) 53 мкР/год;

загальний об'єм відпрацьованої технологічної води становив 830 л, показники води за своїми радіаційними параметрами не перевищують фонових.

Детальні результати дозиметричного контролю, проведеного до і після гідродинамічного очищення/дезактивації зразків НКТ та обладнання, показано у табл. 4.

Отже, цими експериментальними дослідженнями підтверджено технічну можливість і ефективність гідродинамічного очищення НКТ та іншого нафтопромислового обладнання від

мінеральних відкладень із підвищеною радіоактивністю. Спостерігалось зниження рівня забруднення за всіма радіаційними параметрами. Найбільш показовими є результати дезактивації для  $\alpha$ -забруднення і ПЕД. У результаті проведених експериментів ці радіаційні показники були знижені практично до фонових значень (див. табл. 4).

У складі відпрацьованої води і твердих відходів відмічено наявність природних радіонуклідів Th-232, Ra-226 і K-40. Концентрації радіонуклідів дослідженої води не перевищують допустимих за НРБУ-97 значень для питної води та не дають змоги класифікувати їх як рідкі радіоактивні відходи. Тверді відходи відповідно до класифікації ОСПУ-2005 можуть бути віднесені до низькоактивних РАВ.

У процесі гідродинамічного очищення фрагментів НКТ ушкодження внутрішніх і зовнішніх поверхонь не відбувається, що забезпечує можливість їх повторного використання. Під час очищення/дезактивації утворення пилу або аерозолів від радіоактивних відкладень виключено. Усі відкладення видаляються разом із водою. Екологічна чистота та радіаційна безпека обслуговуючого персоналу в процесі очищення забезпечується відповідно до встановлених норм.

Під час дезактивації НКТ механічним способом утворення рідких РАВ унеможлиблюється, але виникають пил та аерозолі, при чому піддаються очищенню лише фрагменти труб завдовжки до 2,0 м, що ускладнює їх ремонт і подальше використання в технологічних процесах за призначенням.



Рис. 1. Сховище для зберігання НКТ, забруднених NORM, на ДСП ХДМСК



Рис. 2. Майданчик для тимчасового зберігання НКТ, забруднених NORM, в НГВУ «Охтирканафтогаз»



Рис. 3. Дезактивована партія НКТ на ДСП «ХДМСК» механічним способом

На підставі проведених випробувань можна стверджувати, що цей напрям досліджень є перспективним і дає можливість проводити подальші заходи з вибору найбільш оптимального й ефективного способу очищення НКТ та нафтопромислового обладнання від NORM, зменшити навантаження на персонал, населення і довкілля.

Окрім цього, зазначений проект може бути інвестиційно привабливим, оскільки, за нашими розрахунками, орієнтовна собівартість дезактивації однієї тонни НКТ становитиме 1,0 тис. грн, тоді як за існуючої мінімальної вартості надання послуг спеціалізованими комбінатами з перевезення та зберігання однієї тонни НКТ – понад 6,0 тис. грн.

### Висновок

Ураховуючи результати досліджень та міжнародний досвід у вирішенні питань зменшення обсягів утворення матеріалів, забруднених NORM, мінімізації негативного впливу на людей та довкілля, на нашу думку, в подальшому необхідно розглянути найбільш прийнятний підхід, який забезпечує дезактивацію (очищення) обладнання безпосередньо на виробничих майданчиках чи свердловинах або на території спеціалізованих підприємств. Геологічне та технологічне обґрунтування найбільш безпечних схем повернення осадів та вторинних РАВ, що утворюються під час вилугування радіонуклідів із мінеральних відкладів на НКТ й обладнанні та твердї частини нафтошламів у глибинні геологічні формації в межах гірничих відводів родовищ, має базуватися на тому, що скорочення техногенного циклу природного кругообігу радіаційних елементів на локальному рівні забезпечить зменшення радіаційного забруднення, що сприятиме сталому розвитку природно-техногенних екосистем на планетарному рівні. Для здійснення такої діяльності необхідно забезпечити відповідною нормативною базою та запровадити новітні наукові розробки у виробництво. Для цього необхідно розробити галузевий нормативний документ із питань радіаційної безпеки в НГУ та привести у відповідність до нових міжнародних концептуальних підходів основний документ – НРБУ-97. У подальшому потрібно переробити інший базовий документ – Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України (ОСПУ-2005).

### Список літератури

1. **Техногенне** забруднення радіоактивними елементами на родовищах корисних копалин / В.О. Шумлянський, А.Г. Субботіч, А.Х. Ба-

каржієв та ін. – К.: Знання України, 2003. – 133 с. – ISBN 966-7999-73-4.

2. **Розробка** концепції нормативного документу (документів) щодо забезпечення радіаційної безпеки, пов'язаної з поводженням з техногенно-підсиленними джерелами іонізуючого випромінювання на підприємствах нафтогазової галузі України: звіт про НДР (Договір № 4/987-НДР від 31.05.2013 р., перший етап) / ТОВ «Геоексперт». – К., 2013. – 72 с.

3. **Бузинний М.Г.** Дослідження природних радіонуклідів у підземній воді в Україні/ М.Г. Бузинний, Л.Л. Михайлова, В.І. Сахно, М. О. Романченко// Довкілля та здоров'я. – 2011. – № 1. – С. 31–35.

4. **Саргош О.Д.** Проблема радіоактивних залишків, що утворюються на підприємствах нафтогазовидобувної промисловості/О.Д. Саргош, О.С. Загорулько, О.В. Катрушов// Проблеми екології та медицини. – 2004. – Т. 8. – № 3–4. – С. 30–32.

5. **Іванов Є.А.** Радіоактивне забруднення природних екосистем. – Режим доступу: [http://eduknigi.com/ekol\\_view.php?id=553](http://eduknigi.com/ekol_view.php?id=553).

6. **Павленко Т.О.** Радіаційно-гігієнічна оцінка доз опромінення населення України від техногенно-підсиленних джерел природного походження: автореф. дис. – К., 2010. – 39 с.

7. **Дригулич П.Г.** Проблемные аспекты обращения с оборудованьем и материалами загрязненными техногенно усиленными источниками ионизирующего излучения естественного происхождения в ПАО «Укрнефть» // Мат. междунар. раб. встречи А 14. GRS. Методы обращения и повторного использования технического оборудования и зданий, загрязненных NORM, а также мониторинг дозовых нагрузок на рабочих местах в промышленности NORM и при реабилитации наследия горнодобывающей промышленности: слайдовый стендовый доклад 1–17, (Германия, 14–18 ноября 2011 года). – Берлин GRS, 2011.

### Автор статті

**Дригулич Петро Григорович**

Начальник управління екологічної безпеки ПАТ «Укрнафта», канд. геол. наук. Закінчив геологічний факультет Львівського державного університету ім. І. Я. Франка, економічний факультет Національного університету «Львівська політехніка» та аспірантуру Інституту геології і геохімії горючих копалин НАН України. Наукові інтереси пов'язані з



моніторингом за станом навколишнього середовища та розробленням заходів зі зменшення негативного впливу об'єктів нафтогазового комплексу на довкілля.