

ZASTOSOWANIE METODY ZNACZNIKÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH DO KONTROLI SZCZELNOŚCI I LOKALIZACJI NIESZCZELNOŚCI W RUROCIĄGACH PODZIEMNYCH

*Janusz Kraś, Lech Waliś, Stanisław Myczkowski
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej
ul. Dorodna 16
03-195 Warszawa*

1. STRESZCZENIE

Prowadzone od ponad 35 lat w Instytucie Badań Jądrowych, a obecnie w Instytucie Chemii i Techniki Jądrowej prace dotyczące wykorzystania metod znaczników radioizotopowych w przemyśle i technice zaowocowały opracowaniami wielu metod i technik pomiarowych. Jedną z dziedzin, gdzie zastosowanie technik radioizotopowych w stosunku do stosowania technik tradycyjnych przynosi wyraźne efekty ekonomiczne i poznawcze, jest kontrola szczelności i lokalizacja miejsc nieszczelnych w obiektach technicznych. Opracowane metody i urządzenia są rutynowo stosowane do kontroli szczelności takich obiektów jak reaktory i kolumny przemysłu chemicznego i petrochemicznego, wymienniki, zbiorniki podziemne i naziemne, rurociągi przesyłowe i technologiczne, zasuw, zawory itp. Podstawowymi zaletami radioizotopowej metody kontroli szczelności i lokalizacji miejsc nieszczelnych jest łatwość jej stosowania, krótki czas trwania eksperymentu, stosunkowo niski koszt i krótki czas prac adaptacyjnych obiektu do kontroli, oraz bardzo duża czułość wykonywanych ekspertyz.

Dzięki zastosowaniu techniki znaczników radioizotopowych możliwe jest wykonanie ekspertyzy przy ciśnieniu roboczym, lub przy ciśnieniu dowolnie niskim, które nie powoduje dodatkowego i zbytecznego wyłączenia materiałów konstrukcyjnych. Metoda radioznacznikowa mimo, że nie jest próbą wytrzymałościową jest komplementarna dla prób ciśnieniowych - hydraulicznej i pneumatycznej. Sama metoda jak i uzyskane przy jej pomocy wyniki są akceptowane przez Urząd Dozoru Technicznego.

Przedstawiono zasady wykorzystania znacznika w postaci gazowego bromku metylu znakowanego bromem Br-82, jego otrzymywanie, sposoby iniekcji i prowadzenia pomiarów radiometrycznych w zależności od rodzaju kontrolowanego obiektu. Omawiane metody znaczników radioizotopowych stosowane do kontroli szczelności rurociągów podziemnych zostały wraz ze specjalistyczną aparaturą opracowane w Instytucie Chemii i Techniki Jądrowej i są w sposób rutynowy stosowane.

2. WSTĘP

Rozwój nowoczesnych technologii stosowanych w przemyśle chemicznym i petrochemicznym, wzrost parametrów eksploatacyjnych instalacji i aparatów, oraz ciągle rosnąca ilość rurociągów przesyłowych dla mediów ciekłych i gazowych powoduje, że ilość potencjalnych punktów przedostania się szkodliwych substancji do środowiska naturalnego wzrasta.

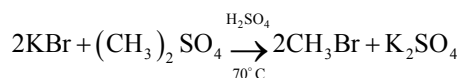
Jest rzeczą oczywistą, że nowe konstrukcje są już w fazie projektowania wyposażone w systemy zabezpieczające i sygnalizacyjne, które eliminują niekontrolowane skażenia. Większość jednak już pracujących obiektów takich zabezpieczeń nie posiada. Pełne zabezpieczenia są również bardzo rzadko stosowane w dużych obiektach takich jak rurociągi dalekosiężne i zbiorniki magazynowe. Małe nieszczelności istniejące w tych obiektach, ze względu na długi czas trwania wycieku powodują bardzo znaczące skażenie i zagrożenia środowiska. Nieszczelności te są wykrywane dopiero po przedostaniu się skażeń do wód gruntowych, bądź po skażeniu dużego obszaru i wydostaniu się skażeń na powierzchnię.

W związku z powyższym, jest duże zapotrzebowanie na metody kontrolne, przy użyciu których można wykryć i zlokalizować istniejące małe nieszczelności. Metody tradycyjne, takie jak hydrauliczna, pneumatyczna, pęcherzykowa są bądź mało efektywne ze względu na swą czułość, bądź niebezpieczne w przypadku jakiegokolwiek awarii. Stosowanie tych metod wymaga czasu- i kapitałochłonnych prac przygotowawczych.

3. METODA I ZNACZNIK

Ogólna zasada radioizotopowej metody kontroli szczelności polega na wprowadzeniu do kontrolowanego obiektu znacznika radioizotopowego. Znacznik ten po wymieszaniu się z medium kontrolnym lub roboczym, pod wpływem panującego w obiekcie ciśnienia (od 0,2 MPa do ciśnienia roboczego) przemieszcza się w kierunku nieszczelności i tam jest adsorbowany na adsorbentach naturalnych (ziemia, izolacja termiczna) lub sztucznych (specjalne materiały nakładane przed rozpoczęciem kontroli). Pomiar radiometryczny adsorbenta pozwala na precyzyjną lokalizację nieszczelności lub wykluczenie jej istnienia.

Najlepsze własności jako znacznik w omawianych badaniach ma gazowy bromek metylu znakowany bromem Br-82. Związek ten jest uzyskiwany z bromku potasu napromienianego w reaktorze w strumieniu neutronów termicznych. Przetwarzanie ciała stałego jakim jest bromek potasu w gazowy bromek metylu, zachodzi w specjalnie skonstruowanym mobilnym reaktorze chemicznym zwanym wytwornicą bromku metylu zgodnie z reakcją:



W zależności od typu wytwornicy, można w niej przerabiać i transportować do 10 Ci (370 GBq) radioaktywnego bromku potasu.

Do wykrywania i lokalizacji nieszczelności przez rejestrację zmian natężenia promieniowania, używa się najczęściej typowych radiometrów z sondami scyntylacyjnymi. Jedynie do kontroli rurociągów z komorami czyszczakowymi używa się specjalnych detektorów nadążnych.

4. RUROCIĄGI BEZ KOMÓR CZYSZCZAKOWYCH

Kontrola szczelności rurociągów, do wnętrza których nie można wprowadzić detektora nadążnego oparta jest na detekcji promieniowania gamma emitowanego przez znacznik, który wydobywa się przez nieszczelność w rurociągu i desorbuje ku górnym warstwom ziemi.

Detektor jest przemieszczany tuż nad powierzchnią ziemi na całej trasie rurociągu lub jego odcinka. Sposób ten wymaga okresowego wyłączenia badanego rurociągu z normalnej eksploatacji (zmniejszenie prędkości przesuwania się znacznika w rurociągu) w celu umożliwienia śledzenia i kierowania ruchem dozowanego znacznika, a osiągnięta czułość pomiaru nie jest gorsza niż 1 dcm³/h wydatku nieszczelności dla cieczy i 10 g/h dla gazu.

O wyborze sposobu badania decyduje przewidywana wielkość nieszczelności, długość kontrolowanego rurociągu i jego średnica. Czynniki te wpływają na prędkość przesuwania się znacznika na drodze od miejsca znakowania do miejsca nieszczelności. Badanie szczelności nowych rurociągów może być wykonane przed próbami wytrzymałościowymi, w czasie ich trwania, po ich zakończeniu lub podczas okresowego wyłączenia rurociągu z normalnej eksploatacji.

Metoda jest szczególnie przydatna do kontroli rurociągów do transportu gazu lub przy użyciu gazu jako medium kontrolnego. Wynika to głównie z tego, że możliwym jest w tym przypadku uzyskanie wysokiej wykrywalności nieszczelności dzięki stosowaniu dużych aktywności radioaktywnego znacznika, który po przeprowadzonym badaniu zostaje wyłapany na absorberach lub rozcieńczony w atmosferze, nie stwarzając istotnego zagrożenia radiologicznego.

Przy znakowaniu rurociągów napełnionych cieczą, należy po zakończeniu kontroli rozcieńczyć radioaktywne medium w medium roboczym w zbiornikach magazynowych lub pozostawić w kontrolowanym rurociągu i każdorazowo określać czas jego schładzania. Czas ten jest konieczny do osiągnięcia poziomu skażenia medium dopuszczalnego przez przepisy dla odpadów niskoaktywnych. Ze względu na krótki czas połowicznego rozpadu zwykle stosowanych znaczników radioizotopowych (Br-82 lub wyjątkowo dla cieczy

nieorganicznych Na-24) jest to stosunkowo łatwe i czas magazynowania praktycznie nie przekracza stu godzin.

Poszczególne warianty metody różnią się sposobem tłoczenia medium próbnego i radioaktywnego znacznika.

4.1. Metoda znakowania całej objętości rurociągu

Metoda przeznaczona jest do badania krótkich rurociągów z przewidywanymi małymi nieszczelnościami. Wtłaczanie znacznika i medium kontrolnego dokonuje się w jednym lub więcej punktach rurociągu w taki sposób, aby znacznik rozprowadzony został w całej objętości medium. Ze względu na wykrywalność zaleca się stosowanie możliwie wysokiego ciśnienia próby. Po natłoczeniu medium roboczego lub kontrolnego do ustalonego ciśnienia przerywa się jego dotłaczanie i pozostawia rurociąg na kilka godzin. Jest to czas potrzebny na przedostanie się znakowanego medium przez najmniejsze nieszczelności do górnych warstw ziemi. Wykrycie promieniowania w strefie nieszczelności dokonuje się urządzeniem rejestrującym promieniowanie gamma emitowane przez znacznik radioizotopowy. Zaletą metody jest możliwość wykrycia jednorazowo wszystkich nieszczelności, bez konieczności śledzenia ruchu znacznika w rurociągu, a więc odkopywania rurociągu podczas kontroli.

4.2. Metoda jednorazowego impulsowego dozowania znacznika

Metoda przeznaczona jest do badania krótkich rurociągów z przewidywanymi dużymi nieszczelnościami. Po napełnieniu badanego rurociągu do wcześniej założonego ciśnienia przerywa się tłoczenie. Następnie w środkowej strefie rurociągu wprowadza się jednym impulsem porcję radioaktywnego znacznika. Znacznik ten wraz z medium przemieszcza się, aż do nieszczelności, przez którą migruje ku powierzchni ziemi, gdzie jest rejestrowany. Dozowanie znacznika w środkowej strefie rurociągu ma na celu skrócenie czasu lokalizacji nieszczelności. Ustawione na ścianie rurociągu po obu stronach miejsca znakowania radiometry pozwalają na określenie kierunku ruchu znacznika, a to z kolei, na eliminację z dalszej kontroli szczelnej części rurociągu.

Przy małych nieszczelnościach zachodzi konieczność odkopywania rurociągu, w celu śledzenia ruchu znacznika na drodze do nieszczelności.

4.3. Metoda impulsowego dozowania znacznika w kilku punktach rurociągu

Metoda jest przeznaczona do badania długich odcinków rurociągów z przewidywanymi małymi nieszczelnościami. Zasada metody jest zbieżna z przedstawioną powyżej, a lokalizacja nieszczelności oparta jest na śledzeniu ruchu znacznika radioizotopowego przy użyciu radiometrów umieszczonych po obu stronach miejsc jego iniekcji. Jako miejsca iniekcji wykorzystuje się najczęściej istniejącą armaturę odwadniającą lub odpowietrzającą. Porcje dozowanego znacznika są bardzo małe, rzędu pojedynczych mCi, a dopiero ostatnia porcja podawana w miejscu najbliższym wstępnie zlokalizowanej nieszczelności jest na tyle duża, że można ją zarejestrować w miejscu istnienia nieszczelności.

4.4. Metoda impulsowego dozowania znacznika z ciągłym dotłaczaniem medium

Metoda przeznaczona jest do kontroli dowolnej długości rurociągów do transportu gazu z dużymi przewidywanymi nieszczelnościami. Z uwagi na to, że jednorazowe natłoczenie rurociągu może nie wystarczać na doprowadzenie znacznika do stref nieszczelności istnieje konieczność ciągłego dotłaczania gazu stałym ciśnieniem. Ciągłe dotłaczanie gazu jest przydatne również do lokalizacji małych nieszczelności ponieważ przyspiesza ten proces. Warunkiem szybkiej lokalizacji nieszczelności jest utrzymanie ustalonego dopływu medium, równoważącego jego ubytki spowodowane nieszczelnościami.

W przypadku bardzo dużego ubytku gazu, dozowanie znacznika i dotłaczanie rurociągu można wykonywać w dowolnym miejscu.

Ocena poszczególnychwyżej opisanych wariantów metody kontroli rurociągów bez komór czyszczakowych jest następująca :

Stosując metodę znakowania całej objętości medium w rurociągu praktycznie każda nieszczelność, która zostanie stwierdzona na podstawie pomiarów manometrycznych lub innych jest wykrywana i zlokalizowana. Warunkiem koniecznym jest, aby do górnych warstw ziemi w strefie nieszczelności można było doprowadzić znacznik o aktywności około 1μCi (37 kBq). Przyjmując, że tylko 1% znacznika zostaje

zatrzymana w warstwie przypowierzchniowej, obliczyć można, że przez nieszczelność musi przedostać się znacznik o aktualnej aktywności na poziomie 100 μC (3,7 MBq). Czy taka porcja znacznika może być odprowadzona do ziemi zależy tylko od jego stężenia w medium kontrolnymi i czasu przebywania pod nieszczelnością. Zwiększenie czułości pomiarów dla lokalizacji nieszczelności o wydatku poniżej 1 dm^3/godz , umożliwiają własności stosowanego znacznika i związku chemicznego, w jakim jest on dozowany. a mianowicie desorpcja bromku metylu z gruntu w kierunku powierzchni nadkładu od 10 cm/h dla gruntów ciężkich do 15 cm/h dla gruntów lekkich. Tak więc pomiary radiometryczne należy rozpoczynać po upływie pewnego czasu (dla nadkładu o grubości 100 cm po 8. do 10. godzinach) od osiągnięcia ciśnienia próby. Nie wykrycie promieniowania na trasie rurociągu może świadczyć o tym, że rurociąg jest szczelny, lub że istnieje kilka nieszczelności o wydatku każdej z nich mniejszym niż próg wykrywalności metody.

Stosując pozostałe metody zlokalizować można każdą nieszczelność powodującą ruch medium w rurociągu. Śledzenie tego ruchu musi naprowadzić na strefę nieszczelną. Ograniczenie metody może wynikać jedynie ze zbyt długiego czasu migracji znacznika od punktu iniekcji do punktu istnienia nieszczelności. W tym przypadku należy zwiększyć ilość miejsc iniekcji.

Koszt kontroli rurociągów opisanymi wyżej metodami nie jest nadmiernie wysoki, a stosowana aparatura izotopowa i radiometryczna jest produkowana w kraju.

4. RUROCIĄGI WYPOSAŻONE W KOMORY CZYSZCZAKOWE

W referowanym przypadku, gazowy bromek metylu (o objętości ok. 200 cm^3) znakowany radioaktywnym bromem Br-82 jest wprowadzany z wytwornicy do płynącego rurociągiem czynnika roboczego przy użyciu sprężonego powietrza lub azotu w trakcie pompowania medium roboczego lub kontrolnego. Ewentualny wyciek jest wykrywany specjalnym detektorem promieniowania gamma umieszczonym w szczelnej obudowie ciśnieniowej i przemieszczającym się wraz z medium. Detektor ten zostaje wprowadzony do rurociągu w ustalonym wcześniej czasie po zadozowaniu radioaktywnego znacznika i rejestruje w sposób ciągły tło naturalne w rurociągu, a na tym tle piki pochodzące od promieniowania Br-82 zawartego w ewentualnym wycieku. Wymagana do wyraźnego zarejestrowania aktywność Br-82 zawartego w wycieku wynosi w przybliżeniu 1–10 μCi (37–370 kBq). Uzyskany zapis zwany lokalizacją ogólną wycieku daje informację o położeniu nieszczelności z dokładnością od kilku do kilkudziesięciu metrów, w zależności od gęstości usytuowania znaczników odległości (najczęściej są to źródła Co-60 o aktywności rzędu 2 MBq) wcześniej rozmieszczone na zewnętrznych ściankach rurociągu. Lokalizację szczegółową nieszczelności uzyskuje się przez sondowania gruntu lub pomiary radiometryczne nad rurociągiem w strefie wybranej na podstawie lokalizacji ogólnej. Minimalny wydatek nieszczelności możliwy do zarejestrowania wynosi 0,5 dm^3/h dla cieczy i 5 g/h dla gazu. Przy użyciu detektorów nadążnych mogą być aktualnie kontrolowane rurociągi o średnicach 200–600 mm z podaną wyżej czułością. W przypadku konieczności kontroli rurociągów o większych średnicach czułość kontroli jest niższa, ale nie gorsza niż 1,5 dm^3/h dla cieczy i 10 g/h dla gazu.

Całkowitą kontrolę szczelności rurociągu wykonuje się w dwu przebiegach detektora. W pierwszym przebiegu jest rejestrowane tło naturalne rurociągu oraz dane potrzebne do wyliczenia aktywności całkowitej znacznika koniecznej dla realizacji kontroli z założoną czułością, a w drugim przebiegu dokonywana jest właściwa kontrola szczelności.

Kontrolę rurociągów wykonuje się w trakcie ich normalnej eksploatacji lub w próbach odbiorczych.

5.1. Urządzenia

Urządzenia (detektory) oznaczone symbolami ABSR-1 i ABSR-3 służą do detekcji i rejestracji w sposób ciągły na całej trasie kontrolowanego odcinka rurociągu promieniowania emitowanego przez zaabsorbowany w miejscu wycieku znacznik radioizotopowy. Ponadto rejestrowany jest:

- rozkład promieniowania naturalnego w bezpośrednim otoczeniu rurociągu,
- natężenie promieniowania od izotopowych znaczników odległości,
- natężenie promieniowania od izotopowych wzorców wykrywalności,

Detektor ABSR-1 przeznaczony jest do pracy w rurociągach w zakresie średnic 300 do 600 mm, a detektor ABSR-3 w rurociągach o średnicach 200 do 300 mm.

5.1.1. Dane techniczne obudów szczelnych i detektorów

5.1.1.1. Obudowa szczelna ABSR-1 /ABSR-3

- długość całkowita wraz z przewodnikami 1200/1100 mm,
- długość całkowita bez przewodnic 835/820 mm,
- średnica maksymalna części metalowej 210/150 mm,
- masa całkowita wraz z przewodnikami 80/30 kg.

5.1.1.2. Detektor ABSR-1/ABSR-3

- maksymalny czas rejestracji 70/35 godz.,
- średnica 162/100 mm,
- długość 660/660 mm,
- masa 12/8 kg.

Omawiane detektory, różnią się między sobą średnicą zewnętrzną i pojemnością akumulatorów zasilających wewnętrzny komputer detektora, a co za tym idzie maksymalnym czasem trwania eksperymentu. W detektorze ABSR-1 zainstalowany jest akumulator o pojemności 6 Ah, a w detektorze ABSR-3 - 3 Ah. Drugą różnicą jest typ zainstalowanych scyntybłoków. W detektorze ABSR-1 jest scyntybłok z kryształem NaJ/Tl 3×3", a w detektorze ABSR-3 2×2". Poza powyższymi różnicami oba typy detektorów są identyczne pod względem możliwości funkcjonalnych i przyjętych rozwiązań układów elektronicznych.

Detektor umożliwia ustawianie parametrów pomiaru, odczyt danych po zakończeniu eksperymentu oraz transmisję danych do komputera IBM. Obsługa detektora jest dokonywana przy użyciu klawiatury oraz wyświetlacza. Na wyświetlaczu użytkownik może odczytać stan miernika, ustawione parametry pomiaru (ilość kanałów pomiarowych, czas na kanał, opóźnienie uruchomienia pomiaru), oraz zgromadzone w pamięci wyniki.

Transmisja danych pomiarowych po zakończeniu eksperymentu z pamięci wewnętrznej detektora do komputera IBM, oraz ładowanie akumulatorów detektora wymaga użycia urządzenia ładująco-transmisyjnego.

5.2. Analiza wyników pomiarów

Analiza wyników uzyskanych z koniecznych przy kontroli szczelności rurociągu podziemnego dwu przebiegów detektora dokonywana jest po transmisji wyników z komputera wewnętrznego detektora do komputera IBM przy użyciu opracowanego specjalizowanego programu. Analiza ta polega na porównaniu wyników z obu przebiegów i wychwyceniu miejsc o podwyższonym tle w przebiegu kontrolnym w stosunku do tych samych miejsc w przebiegu rejestracji tła rurociągu. Opracowany program obróbki danych może być uruchomiony na dowolnym komputerze typu IBM XT/AT wyposażonym w kartę grafiki VGA, mysz zgodną ze standardem Microsoft oraz jeden wolny port szeregowy RS-232. Zalecane jest używanie komputera klasy 386/486 z zegarem minimum 33 MHz. Jest to podyktowane przez sposób zapisu i prezentacji wyników pomiarów. Jest oczywiste, że sposób ten może być dowolnie zmieniany w zależności od potrzeb użytkownika, ale związane to jest z opracowaniem nowego programu komputerowego. W używanej obecnie wersji, dane pomiarowe w czasie transmisji są zapisywane na dysku twardym komputera IBM i w miarę potrzeb odczytywane, przetwarzane na postać graficzną i przesyłane na ekran. Przy wolniejszych maszynach (XT/AT) czasy operacyjne komputera są stosunkowo długie co zdecydowanie utrudnia analizę uzyskanych

wyników. Omawiany program zajmuje około 250 kB pamięci dyskowej. Dla jego poprawnego funkcjonowania konieczna jest wolna pamięć dyskowa o pojemności 2,3 MB na jedną pełną (262144 kanałów) krzywą pomiarową.

Przetawione powyżej w sposób z konieczności dosyć skrótowy metoda i urządzenia służące do kontroli i lokalizacji miejsc nieszczelnych w rurociągach podziemnych wyposażonych w komory czyszczakowe przy użyciu znaczników radioizotopowych dotyczą stanu na koniec 1999 roku.

W fazie prób eksploatacyjnych znajduje się obecnie detektor DN 1 do kontroli rurociągów w zakresie średnic 200 do 600 mm. Detektor ten zastępuje detektory ABSR-1 i ABSR-3. W wyniku zastosowania nowych rozwiązań technicznych charakteryzuje się on zwiększoną czułością pomiarów, wydłużonym do 100 godzin czasem pracy w rurociągu i wewnętrznym układem do ładowania akumulatorów i transmisji uzyskanych wyników.

Opracowana i wdrożona metoda kontroli rurociągów przy użyciu znaczników radioizotopowych oraz konieczna do jej stosowania aparatura i urządzenia była przedmiotem eksportu. W ramach kontraktu z Międzynarodową Agencją Energii Atomowej w Wiedniu dostarczono do Iranu kompletną aparaturę, metodykę i przeszkolono ekipę badawczą. Przeszkolona w Polsce ekipa Nuclear Research Institute of Teheran od 1995 roku prowadzi przy jej użyciu rutynowe kontrole miejscowych rurociągów stwierdzając w nich liczne nieszczelności. Wydatki tych nieszczelności zawierają się w granicach 0,8 do 4,5 l/ godz.

W przypadku zapotrzebowania możliwa jest konstrukcja detektorów przystosowanych do kontroli rurociągów o średnicach większych od 600 mm.