

Stanisław Dubiel*, Jan Ziaja*

SCHEMATY BLOKOWE ANALIZY WARUNKÓW OTWOROWYCH PODCZAS DOWIERCANIA ZŁÓŻ WĘGLOWODORÓW ORAZ WYBORU METODY LIKWIDACJI ERUPCJI WSTĘPNEJ**

1. WSTĘP

Każdy przyływ płynu złożowego do otworu, stanowiący erupcję wstępną, może się przerodzić w erupcję otwartą (rozwiniętą), trudną do opanowania metodami konwencjonalnymi. Podstawową przyczyną powstawania zagrożenia erupcyjnego w postaci erupcji wstępnej jest brak równowagi ciśnień na dnie otworu. Tak więc znane metody likwidacji takiej erupcji prowadzą do uzyskania tej równowagi.

Podstawowym objawem braku równowagi ciśnień: dennego i złożowego, jest wzrost objętości płuczki w zbiorniku roboczym. Zagrożenie erupcyjne zwiększa się znacznie w przypadku wyboru niewłaściwej metody likwidacji erupcji wstępnej. Może bowiem wystąpić wówczas szczelinowanie hydrauliczne skał w nieorurowanym odcinku otworu prowadzące zwykle do erupcji wgłębnej lub pozarurowej albo pozaotworowej. Występuje także niebezpieczeństwo powstania nieszczelności elementów wyposażenia przeciwerupcyjnego bądź okładziny otworu.

2. ANALIZA WARUNKÓW DOWIERCANIA ZŁÓŻ WĘGLOWODORÓW POD KĄTEM ZAGROŻENIA ERUPCYJNEGO

W obszarach poszukiwań naftowych prognozowanie objawów erupcyjnych, a zwłaszcza przewidywanie głębokości występowania stref o anormalnie wysokim ciśnieniu złożowym (AWCZ), ma istotne znaczenie w zapobieganiu erupcjom płynu złożowego oraz w projektowaniu metody likwidacji erupcji wstępnej [1–3, 5, 6].

* Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH, Kraków

** Pracę wykonano w ramach badań statutowych Wydziału WNiG AGH

Metody prognozowania zagrożenia erupcyjnego w obszarach poszukiwań naftowych, można podzielić na dwie grupy:

- 1) Metody oparte na zależności prędkości wiercenia od zwiercalności skały (mechaniczna prędkość wiercenia, wykładnik potęgowy „d_c-exp”, a także wskaźnik „sigmalog”), umożliwiające prognozowanie wartości AWCZ [3].
- 2) Metody oparte na informacjach dostarczanych przez płuczkę wypływającą z otworu (wzrost strumienia wypływu oraz zawartości gazu w płuczce, zmiana gęstości, objętości i kształtu zwiercin oraz zmiany: momentu obrotowego, ciężaru na haku wiertniczym i ciśnienia tłoczenia płuczki) [1].

Metody z pierwszej grupy polegają na porównywaniu stanu niepełnej kompaktacji skał ilastych ze stanem kompaktacji normalnej tych skał, co wymaga wykreślenia prostej trendu kompaktacji normalnej skał ilastych dla kontrolowanego wskaźnika identyfikacji stref o AWCZ. Prostą trendu kompaktacji normalnej skał ilastych ustala się lokalnie, czyli dla danego obszaru geologicznego, na podstawie zgromadzonych danych przemysłowych. Często wyznaczona dla tego obszaru prosta wymaga uściślenia przez przesunięcie w układzie współrzędnych, w celu jej dopasowania do danych otrzymanych z konkretnego otworu wiertniczego w tym obszarze

Podczas procesu wiercenia otworów geologiczno-poszukiwawczych mających na celu odkrycie złóż węglowodorów wskazane jest także śledzenie m.in. zmian zawartości gazu w płuczce, ilości, gęstości i kształtu zwiercin, zmian momentu obrotowego stołu wiertniczego, zmian ciężaru na haku wiertniczym oraz zmian ciśnienia tłoczenia płuczki i in. [4]. Taka obserwacja procesu wiercenia, zwłaszcza dokonywana w sposób ciągły przy użyciu aparatury kontrolno-pomiarowej, pozwala na uzyskanie wielu informacji o warunkach równowagi ciśnień na spodzie otworu oraz stanowi podstawę do wydzielenia w profilu otworu strefy o AWCZ.

Zmiany wymienionych wskaźników i objawów mogą występować tak w przypadku przewiercania stref przejściowych zbudowanych ze skał nieprzepuszczalnych, występujących nad strefami złożowymi o AWCZ, jak też podczas przewiercania stref złożowych.

Diagnostyka problemu, jako zadanie rozpoznawcze, polega na przetwarzaniu informacji wejściowych w wyjściowe, umożliwiające wnioskowanie o stanie zagrożenia. Diagnostyka sytuacji zagrożenia erupcyjnego jest utrudniona, gdyż objawy erupcyjne charakteryzują się parametrami o rozkładzie stochastycznym [4]. Niestety dotychczas jest zbyt mało zgromadzonych informacji statystycznych o wartościach ilościowych objawów erupcji oraz o granicach zmian tych wartości. W związku z tym dla diagnostyki sytuacji zagrożenia erupcyjnego przyjmuje się system rozpoznawania bazujący na cechach logicznych. Cechy te przyjmują z reguły formę pytań, na które są tylko dwie odpowiedzi: „tak” lub „nie”. Oceniać nimi można jedynie te właściwości, które można ująć ilościowo. Wielkości logiczne mają jednak charakter jakościowej oceny istnienia lub braku pewnych właściwości lub pewnych symptomów u rozpoznawanych obiektów czy zjawisk.

Na rysunku 1 (na wklejce) zamieszczono schemat blokowy przeznaczony do analizy warunków dowiercania złóż węglowodorów pod kątem wykrywania zagrożenia erupcyjnego oraz do podejmowania odpowiednich decyzji technologicznych.

Wzrost zawartości gazu w płuczce wiertniczej ponad tło gazowe. W procesie przewiercania ilastych stref przejściowych ekranujących złoża gazu ziemnego płuczka nasycza się gazem pochodzącym z urabianej skały, niezależnie od równowagi ciśnień na dnie otworu. Taka zawartość gazu w płuczce stanowi tzw. tło gazowe, wynoszące przykładowo 1% (tj. np. 6 jednostek umownych). W takim przypadku obciążenie płuczki nie zapobiega jej nagazowaniu. Jeżeli jednak podczas przerw w wierceniu, a zwłaszcza podczas przerw w obiegu płuczki w otworze, obserwuje się wzrost zawartości gazu w płuczce, wówczas może być to objawem występowania strefy o anomalnie wysokim ciśnieniu (AWC) i braku równowagi ciśnień na dnie otworu.

Profilowanie gazowe potwierdza i uzupełnia wyniki ujawniania zagrożenia erupcyjnego uzyskiwane innymi metodami.

Wzrost strumienia płuczki wypływającej z otworu wskazuje jednoznacznie na dopływ płynu złożowego do otworu. W przypadku dopływu gazu wzrost ten jest intensywny, gdyż gaz rozpręża się w otworze.

Przyrost objętości płuczki w zbiornikach roboczych jest podstawowym objawem ujawniania występowania AWC przy przewiercaniu stref przejściowych. Na podstawie wartości tego przyrostu określa się wysokość słupa poduszki gazu w przestrzeni pierścieniowej otworu. Stanowi to podstawę doboru metody likwidacji erupcji wstępnej.

Zmiany momentu obrotowego mierzonego na stole wiertniczym, zwłaszcza podczas przewiercania stref przejściowych, świadczą o występowaniu AWC. Strefy przejściowe zalegające nad złożami węglowodorów o anomalnie wysokim ciśnieniu złożowym (AWCZ) zbudowane są zwykle ze skał niestabilnych, ulegających zjawiskom rozmywania przez płuczke, obwałom lub sypaniu, a także pelzaniu i pęcznieniu.

Jeżeli zjawiska te prowadzą do zmniejszenia powierzchni przekroju poprzecznego pionowego odcinka otworu, to zauważa się **wzrost momentu obrotowego**, a także **wzrost ciśnienia płuczki w rurociągu tłocznym** oraz **zmniejszenie obciążenia haka wiertniczego w trakcie wiercenia** (a jego zwiększenie podczas wyciągania przewodu). Jeśli natomiast wymienione zjawiska prowadzą do zwiększenia powierzchni przekroju, to zmiany te są odwrotne. Intensywny dopływ płynu złożowego do otworu podnosi przewód wiertniczy (zmniejsza się obciążenie haka) oraz obniża się wartość ciśnienia tłoczenia płuczki.

Zmiany ilości i kształtu zwiercin, zwłaszcza podczas przewiercania strefy przejściowej zbudowanej ze skał łupkowo-ilastych, świadczą, że w tej strefie występuje AWC. Cząstki tych skał, odrywające się od ściany otworu w warunkach braku równowagi ciśnień na spodzie otworu, mają zwykle charakterystyczny kształt wydłużonej, ostro zakończonych łuski. Tak więc zwiększenie ilości zwiercin na sitach wibracyjnych świadczy o stopniowym zmniejszaniu się różnicy ciśnień na spodzie otworu, a obecność tych charakterystycznych cząstek jest objawem występowania AWC.

Skały ilasto-łupkowe w strefie przejściowej ulegają znacznemu rozgęszczaniu (dekompakcji). Wyniki profilowania zmian gęstości skał łupkowo-ilastych w strefie przejściowej mogą stanowić podstawę prognozowania wartości ciśnienia złożowego w strefie złożowej, a wyniki tego prognozowania umożliwiają dobór gęstości płuczki.

3. SCHEMAT BLOKOWY DOBORU METODY USUWANIA PODUSZKI GAZU Z OTWORU PIONOWEGO

Największe zagrożenie erupcyjne stwarza dopływ gazu ziemnego do otworu, zwłaszcza gdy jego objętość (równa przyrostowi płuczki w zbiorniku roboczym ΔV_{zb}) jest większa od 5 m^3 [5]. Gaz znajdujący się w otworze zamkniętym w formie poduszki gazowej przemieszcza się w kierunku jego wylotu niezależnie od gęstości płuczki i wielkości ciśnienia pod głowicą. Jeżeli zamknięty otwór jest całkowicie szczelny, wolny gaz będzie się przemieszczał bez zmiany objętości i ciśnienia. W każdym miejscu otworu zachowa objętość i ciśnienie takie jak w warunkach początkowych, tzn. po ustabilizowaniu się ciśnień w warunkach zamkniętego wylotu otworu.

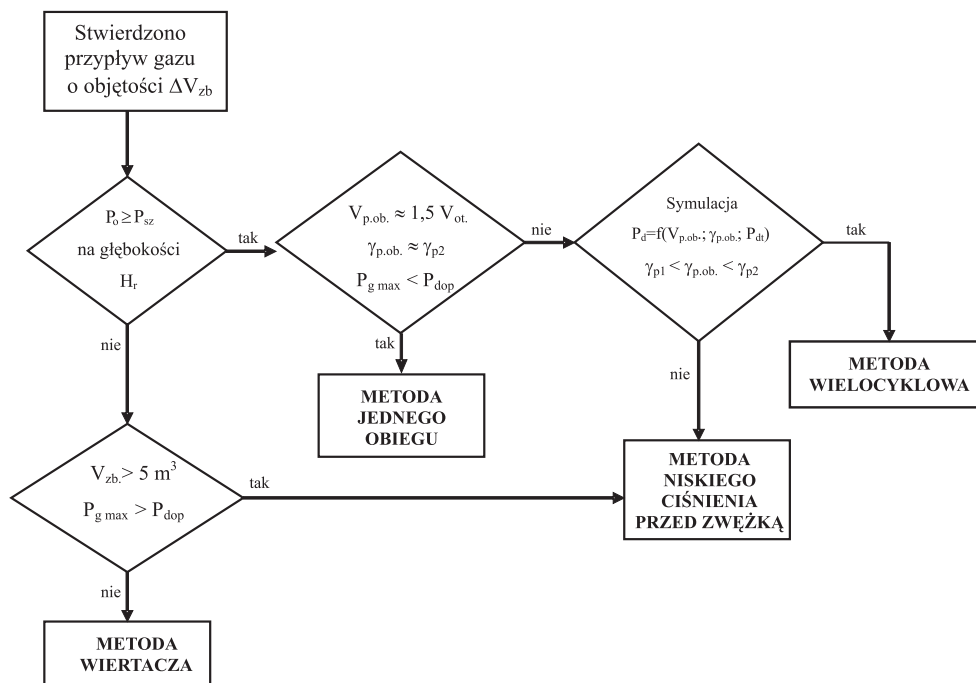
Przyczyną skomplikowania prac związanych z likwidacją erupcji jest zwykle również zbyt późne wykrycie jej objawów. Większa objętość gazu dopływającego do otworu obniża ciśnienie hydrostatyczne wywierane przez płyn w przestrzeni pierścieniowej otworu, a to powoduje, że ciśnienie zarejestrowane w przestrzeni pierścieniowej po zamknięciu otworu jest większe. Im większa jego początkowa objętość, tym większe ciśnienie w przestrzeni pierścieniowej, gdy gaz znajdzie się pod głowicą podczas jego wytłaczania z otworu płuczka.

Biorąc powyższe spostrzeżenia pod uwagę, opracowano schemat blokowy (rys. 2) umożliwiający dobór metody usuwania poduszki gazu z przestrzeni pierścieniowej otworu.

Każdą z przedstawionych na rysunku 2 metod likwidacji erupcji wstępnej łączą dwie wspólne zasady konieczności stosowania stałej wydajności pomp podczas zatłaczania płuczki oraz konieczność utrzymywania stałego ciśnienia w przewodzie wiertniczym. Pozostałe cechy tych metod są odmienne [5].

Metodą jednego obiegu doprowadza się w najkrótszym czasie do równowagi ciśnień: dennego P_d i złożowego P_z (tj. po wykonaniu jednego obiegu) pod warunkiem, że na wiertni jest zapas płuczki obciążonej o ciężarze właściwym $\gamma_{p.ob.}$ zbliżonym do wymaganego γ_{p2} oraz o objętości $V_{p.ob.}$ wynoszącej około 1,5 objętości otworu $V_{otw.}$. W innym przypadku nie zawsze może być ona zastosowana ze względu na długi czas potrzebny do przygotowania płuczki obciążonej. Przy stosowaniu tej metody maksymalna wartość ciśnienia głowicowego P_{gmax} jest mniejsza od wartości dopuszczalnej $P_{dop.}$

Metoda wiertacza (dwóch obiegów) jest najmniej skomplikowana, ale najbardziej niebezpieczna. Pierwsza niebezpieczna sytuacja występuje wówczas, gdy wypierana płuczka (o dotychczasowym ciężarze właściwym γ_{p1}) poduszka gazu znajdzie się na głębokości posadowienia buta ostatniej kolumny rur okładzinowych H_r . Wówczas ciśnienie na tej głębokości P_o może osiągnąć wartość większą od ciśnienia hydraulicznego szczelinowania skał P_{sz} na odcinku otworu nieorurowanego. Druga niebezpieczna sytuacja występuje wówczas, gdy poduszka gazu znajduje się pod głowicą przeciwerupcyjną. Może wówczas dojść do przekroczenia dopuszczalnego ciśnienia w przestrzeni pierścieniowej otworu wiertniczego ($P_{gmax} > P_{dop.}$), bowiem pod koniec pierwszego obiegu, aby podczas odpuszczania poduszki gazu w atmosferę móc utrzymywać równowagę ciśnień na dnie otworu ($P_{d1} = P_z$), konieczne jest stosowanie znacznego ciśnienia dławienia P_{d1} . W pierwszym obiegu ciśnienie dennie P_{d1} jest więc funkcją niewielkiego ciężaru właściwego γ_{p1} oraz dużego ciśnienia dławienia P_{d1} . Dopiero w drugim obiegu, stosując płuczka obciążoną (γ_{p2}) oraz mniejsze ciśnienie dławienia (P_{d2}), uzyskuje się odpowiednio duże ciśnienie dennie ($P_{d2} \geq P_z$).



Rys. 2. Schemat blokowy doboru metody usuwania poduszki gazowej z przestrzeni pierścieniowej otworu

Metoda wielocyklowa polega na bieżącym obciążaniu i zatłaczaniu partiami płuczki o zmiennym ciężarze właściwym ($\gamma_{p1} < \gamma_{p.ob.} < \gamma_{p2}$), a to może być procedurą zbyt skomplikowaną i operacją trudną do kontrolowania dla załogi. Wskazane byłoby używanie w tym celu odpowiedniego symulatora. Ciśnienie denne zależy w tym przypadku dodatkowo od objętości danej partii ($V_{p.ob.}$) płuczki obciążonej ($\gamma_{p.ob.}$), tworzącej (w danej pojemności przewodu lub przestrzeni pierścieniowej) słup o odpowiedniej wysokości. Przy tej metodzie ciśnienie w przestrzeni pierścieniowej jest mniejsze niż przy metodzie wiertacza, a większe niż przy metodzie jednego obiegu.

Metoda z zachowaniem niskiego ciśnienia przed zwężką dławiacą ($P_g = P_{dt} < P_{dop}$) dopuszcza procedurę chwilowego obniżenia ciśnienia dennego ($P_d < P_z$), a tym samym dopływu gazu do otworu o znacznej objętości V_g , aby zachować warunek, że ciśnienie głowicowe nie może przekroczyć ciśnienia dopuszczalnego ($P_g < P_{dop}$). Tak więc podczas usuwania pierwszej poduszki gazu tworzy się następna, lecz o mniejszej objętości ($V_{g1} > V_{g2} > \dots > V_{gn}$), gdyż procesy usuwania kolejnych poduszek odbywają się przy coraz większej wartości ciśnienia dennego ($P_{d1} < P_{d2} < \dots < P_{dn}$), aż do uzyskania warunku: $P_{dn} \geq P_z$.

Podstawową kwestią w czasie likwidacji erupcji w otworze kierunkowym jest to, że wartość pionowej głębokości otworu jest używana do obliczenia ciężaru właściwego płuczki (γ_{p2}) niezbędnego do uzyskania równowagi ciśnień na dnie otworu, a wartość długości otworu – do obliczania objętości tej płuczki ($V_{p.ob.}$).

Po zamknięciu wylotu otworu kierunkowego z odcinkiem horyzontalnym należy zwracać szczególną uwagę na wahania ciśnień w przestrzeni pierścieniowej i przewodzie. W otworach poziomych możliwa jest utrata cyrkulacji płynu w otworze zaraz po zamknięciu głowicy, co może doprowadzić do erupcji podziemnej i przychwycenia przewodu w odcinku horyzontalnym [6]. Jeżeli otwór horyzontalny wiercony jest z podciśnieniem, stosuje się głowicę obrotową. Głowica obrotowa oddziałuje wtedy jak zwężka wytwarzająca przeciwcisnienie na dno otworu, co może być przyczyną utraty cyrkulacji płuczki w otworze. Jeżeli nastąpi przypływ płynu złożowego do otworu, ciśnienie powstałe po zamknięciu wylotu otworu może spowodować hydrauliczne szczelinowanie płynem złożowym najsłabszych skał w nieorurowanej części otworu. Jeżeli pompa płuczkowa jest wyłączona, straty ciśnienia w przestrzeni i ciśnienie na dno otworu, wytworzone przez dławienie na głowicy obrotowej, nie występują. Wówczas istnieje możliwość, że płyn złożowy zatłoczony w warstwę skał słabo związłych powróci do otworu.

Aby podczas likwidacji erupcji nie nastąpił ponowny przypływ płynu złożowego do otworu, należy utrzymywać na głębokości przypływu stałe ciśnienie denne, niewiele większe od ciśnienia złożowego i jednocześnie mniejsze od ciśnienia szczelinowania najmniej związłych skał w nieorurowanym odcinku otworu. Wartość liczbowa nadciśnienia zależy od warunków i stanu otworu, jednak na ogół stosuje się $0,5 \div 1,0$ MPa na 1000 m głębokości otworu. Nadwyżka ciśnienia dennego nad złożowym w czasie wyciągania przewodu powinna wynosić w granicach $1,0 \div 1,5$ MPa [5, 6].

W każdej fazie prac zmierzających do opanowania erupcji wstępnej należy śledzić i rejestrować ich przebieg, a w razie potrzeby korygować stosowne procedury w zależności od sytuacji w otworze. Technologię zatłaczania otworu wiertniczego płuczka obciążoną, opartą na zjawiskach fizycznych zachodzących w otworze, należy rygorystycznie stosować i zmieniać ją tylko wtedy, gdy wymaga tego sytuacja określona konkretnymi wartościami obserwowanych parametrów.

4. WNIOSKI KOŃCOWE

1. Wiercenie otworów gazowo-ropnych i gazowych związane jest zawsze z ryzykiem wystąpienia erupcji płynów złożowych (gazu ziemnego, ropy naftowej, wody złożowej), pomimo znacznego rozwoju techniki i technologii wiertniczej.
2. Unikanie katastrofalnych sytuacji erupcyjnych przy wierceniu otworów naftowych w postaci erupcji rozwiniętych jest realizowane w kraju i na świecie poprzez odpowiednio wczesne zastosowanie wybranej metody likwidacji erupcji wstępnej.
3. Wybór konkretnej metody likwidacji erupcji wstępnej jest możliwy na podstawie analizy warunków złożowych i otworowych wiercenia otworu naftowego z zastosowaniem przedstawionego w artykule schematu blokowego.

W wyniku analizy warunków wiercenia w oparciu o przedstawione schematy blokowe możliwe jest odpowiednio wczesne wykrycie zagrożeń erupcyjnych. Dzięki temu możliwe jest uniknięcie erupcji otwartej płynu złożowego. Skuteczność wykrycia zagrożenia erupcją jest znacznie większa w przypadku kompleksowej analizy i odpowiedzi na zadane pytania. Unika się w ten sposób błędne interpretowania objawów.

LITERATURA

- [1] Dubiel S.: *Analiza warunków wiercenia otworu pod kątem ujawnienia zagrożenia erupcyjnego*. Zeszyty Naukowe AGH Kwartalnik Górnictwo, z. 2, 1995
- [2] Dubiel S.: *Decyzje technologiczne w zakresie identyfikacji i likwidacji zagrożenia erupcyjnego w procesie dowiercania do złóż gazu ziemnego*. Rocznik AGH Wiertnictwo Nafta Gaz, t. 14, 1997
- [3] Dubiel S., Chrząszcz W., Rzyczyński M.: *Problemy dowiercania warstw perspektywicznych w otworach naftowych*. Kraków, UWND AGH 2001
- [4] Dubiel S., Wiśniowski R., Skrzypaszek K.: *Identyfikacja zagrożenia erupcyjnego na podstawie procedury diagnostycznej*. Rocznik AGH Wiertnictwo Nafta Gaz, t. 18/1, 2001
- [5] Uliasz J., Dudek L., Herman Z.: *Poradnik zapobiegania i likwidacji erupcji*. Warszawa, Wydawnictwa Geologiczne 1984
- [6] Żupnik A., Marciński J., Dybaś Z.: *Wykrywanie i likwidacja erupcji wstępnej w otworach kierunkowych i poziomych*. Kraków, RSGO 2002