

Korelacja skuteczności usuwania osadu za pomocą cieczy na osnowie jonowych (anionowych) i niejonowych SPCz

Correlation of the effectiveness of mud sludge removal with liquids on the ionic (anionic) and nonionic surfactants

Marcin Kremieniewski

Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy

STRESZCZENIE: Poprawa oczyszczenia przestrzeni pierścieniowej otworu wiertniczego przed zabiegiem cementowania jest bardzo rozbudowanym zagadnieniem. Związane jest to z faktem, że na odpowiednie usunięcie osadu filtracyjnego wpływa wiele czynników, począwszy od technicznych i technologicznych, poprzez hydraulikę i mechanikę płynów, a skończywszy na chemicznych zmianach zachodzących w układach stosowanych cieczy przemysłowych. Skuteczne oczyszczenie kolumny rur okładzinowych oraz formacji skalnej wpływa na ograniczenie lub wyeliminowanie migracji bądź ekshalacji gazu na kontakcie płaszcza cementowego z elementami przylegającymi (formacja skalna lub rura okładzinowa). Dodatkowo oczyszczenie przestrzeni pierścieniowej przyczynia się do dokładnego związania płaszcza cementowego z powierzchniami styku, co pozwala zminimalizować działanie środowiska korozyjnego na kolumnę rur okładzinowych w czasie wieloletniej eksploatacji odwiertu. W celu uzyskania wymaganego usunięcia osadu płuczkowego podczas przygotowywania otworu do cementowania stosuje się cieczy przemysłowe na bazie różnych środków. Są to zazwyczaj środki powierzchniowo czynne, które pozwalają na zdyspergowanie pozostałości osadu płuczkowego i jednocześnie nawilżenie powierzchni przestrzeni pierścieniowej, co jest korzystne podczas hydratacji wtłaczanego w kolejnym etapie prac zaczynu cementowego. Problematyka doskonalenia usuwania osadu płuczkowego wiąże się z koniecznością opracowywania nowych cieczy przemysłowych. W tym celu badaniom poddawane są różnego rodzaju środki charakteryzujące się zróżnicowaną budową i mechanizmem działania. W celu uzyskania wymaganych rezultatów działania cieczy przemysłowej należy prowadzić szereg prac badawczych, a na podstawie porównań i analizy uzyskanych rezultatów staje się możliwe otrzymanie wymaganego efektu. W niniejszej publikacji przedstawiono badania efektywności usuwania osadu płuczkowego za pomocą cieczy przemysłowych sporządzonych na osnowie środków o anionowej oraz niejonowej budowie. Następnie przeprowadzono analizę korelacyjną w celu przedstawienia zależności efektywności usuwania osadu od rodzaju stosowanych środków. Przeprowadzona analiza pozwala na wytypowanie grupy środków charakteryzujących się korzystniejszym działaniem oraz określenie wpływu budowy środka powierzchniowo czynnego na skuteczność jego działania. Podczas realizacji prac badawczych wykonane zostały testy dla różnych stężeń środków anionowych oraz środków niejonowych. Badania skuteczności działania cieczy przemysłowych przeprowadzono w oparciu o pomiar stopnia usunięcia osadu płuczkowego z powierzchni rotora wiskozymetru obrotowego. Podczas prowadzenia badań zastosowano zakres koncentracji środków powierzchniowo czynnych w przedziale od 0,1% do 10%.

Słowa kluczowe: cementowanie otworów, anionowe środki powierzchniowo czynne, niejonowe środki powierzchniowo czynne, ciecz przemysłowa, oczyszczenie przestrzeni pierścieniowej, osad płuczkowy, surfaktanty, analiza korelacyjna.

ABSTRACT: Improving the cleaning of the annular space sealing before cementing is a very complex issue. This is due to the fact that the appropriate removal of filtering sludge is influenced by many factors ranging from technical and technological, through hydraulics and fluid mechanics, and ending with chemical changes occurring in the systems of used washing liquids. Effective cleaning of the drill pipes and rock formation reduces or eliminates migration or exhalation of gas on the contact of the cement with adjoining elements (rock formation or casing). In addition, the cleaning of the annular space contributes to the precise bonding of the cement with the contact surfaces, which minimizes the corrosive environment's impact on the column of casing pipes during long-term exploitation of the well. In order to obtain the required removal of the mud sludge during the preparation of the cementing, washing liquids based on various means are used. These are usually surfactants that allow to disperse the residue of the sludge and simultaneously moisturize the surface of the annular space, which is beneficial during the hydration of the cement slurry pressed in the next stage. The problem of improving the removal of mud sludge involves the need to develop new washing liquids. To this end, various types of measures characterized by diversified structure and mechanism of action are subjected to research. In order to obtain the required results of the

Autor do korespondencji: M. Kremieniewski, e-mail: marcin.kremieniewski@inig.pl

Artykuł nadesłano do Redakcji 16.01.2019 r. Zatwierdzono do druku 15.03.2019 r.

action of the washing liquid, a number of research works should be carried out, and based on comparisons and analysis of the results obtained, it becomes possible to obtain the required effect. This publication presents studies on the effectiveness of removing mud sludge with the use of washing liquids prepared on the basis of anionic agents and non-ionic construction. Then a correlation analysis was carried out in order to present the dependence of the efficiency of sludge removal on the type of measures used. The conducted analysis allows to select a group of agents characterized by a more beneficial effect, and to determine the impact of the surfactant structure on its effectiveness. During the research work, tests were carried out for various concentrations of anionic agents and non-ionic agents. The tests of the effectiveness of the washing liquids were carried out based on the measurement of the degree of removal of the sludge from the rotor surface of the viscometer. During the tests, the concentration range of surfactants used was in the range of 0.1% to 10%.

Key words: well cementing, anionic surfactants, non-ionic surfactants, washing liquid, cleaning of the annular space, mud sludge, surfactants, correlation analysis.

Wprowadzenie

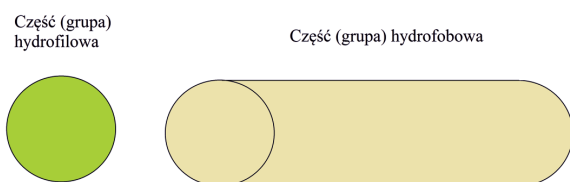
Podczas uszczelniania kolumny rur okładzinowych zaczyn cementowy wtlacza się do przestrzeni pierścieniowej, gdzie płuczka zastępowana jest płynnym zaczynem. Na skutek kontaktu płuczki wiertniczej z zaczynem cementowym często tworzy się nieprzetłaczalna masa na powierzchni styku płuczka–zaczyn cementowy. Ponadto może się zdarzyć, że zaczyn będzie wykazywał tendencję do przepływu spiralnego pomiędzy gęstą masą powstałą na styku dwóch płynów (Uliasz et al., 2006). Wówczas na ścianie otworu lub na powierzchni rury okładzinowej pozostanie warstwa żelowanej płuczki. Konsekwencją powyższego może być brak odpowiedniej izolacji międzystrefowej. W celu wyeliminowania tego niepożądanego zjawiska należy przygotować przestrzeń pierścieniową do zabiegu cementowania i usunąć pozostałości osadu płuczkiowego tłocząc odpowiednio zaprojektowaną ciecz przemywającą. Ciecz taka zawiera w składzie środki powierzchniowo czynne, surfaktanty lub dyspergatory. Najprostszą i najwcześniej stosowaną cieczą przemywającą jest woda. Analizując jednak dostępne pozycje literaturowe (Kremieniewski, 2016; Stryczek, 2016; Kremieniewski et al., 2018b; Kremieniewski i Rzepka, 2018b) stwierdza się, iż nawet długotrwały przepływ wody nie powoduje odpowiedniego usunięcia osadu ze ścian otworu. Ponadto na podstawie danych eksperymentalnych (Nelson, 1990; Uliasz et al., 2015; Jasiński, 2016; Kremieniewski et al., 2018) zaobserwowano, że również wzrost prędkości przepływu, pomimo iż powoduje podwyższenie skuteczności usuwania osadu to jednak nie gwarantuje uzyskania wymaganego rezultatu. Dodatkowo może skutkować ryzykiem rozszielinowania formacji skalnej na skutek wzrostu ciśnienia wraz ze wzrostem wydatku tłoczenia. W związku z powyższym niezbędne jest przepłukanie i wymycie przestrzeni pierścieniowej lub/i pozarurowej otworu wiertniczego odpowiednimi cieczami, które umożliwią usunięcie warstwy osadu, przez co możliwe będzie uzyskanie odpowiedniej przyczepności na kontakcie płaszcza cementowego z formacją skalną i rurą okładzinową (Kremieniewski i Rzepka, 2016; Kremieniewski 2018; Kremieniewski et al, 2018a).

Zasada działania i podział środków do sporządzania cieczy przemywających

W celu oczyszczania przestrzeni pierścieniowej stosuje się cieczy przemywające, czyli płyny, których gęstość i lepkość jest bardzo zbliżona do wody. Ciecze te powodują na ogół rozcieńczanie lub dyspergowanie płuczki. Mała lepkość tych cieczy ułatwia wytłaczanie płuczek przy burzliwym charakterze przepływu, co wpływa na efektywność wytłaczania płuczki z przestrzeni pierścieniowej oraz pozarurowej i na oczyszczenie ściany otworu z osadu iłowego (Stryczek i Gonet, 2005; Habrat et al., 1980; Kremieniewski i Rzepka, 2018a). W celu odpowiedniego zdyspergowania płuczki stosuje się cieczy zawierające w składzie mieszaninę rozpuszczalników i środków powierzchniowo czynnych. Substancje te nie tylko przyczyniają się do rozcieńczenia płuczki, lecz zapewniają również odpowiednie zwilżenie powierzchni rur okładzinowych, dzięki czemu poprawie ulega przyczepność i wiązanie zaczynu cementowego. Dodatkowo środki powierzchniowo czynne pozwalają na obniżenie parametrów reologicznych cieczy przemywającej, co przy tłoczeniu takiej cieczy w warunkach przepływu turbulentnego nie powoduje zbytecznego zagrożenia szczelinowaniem ściany otworu podczas przemywania.

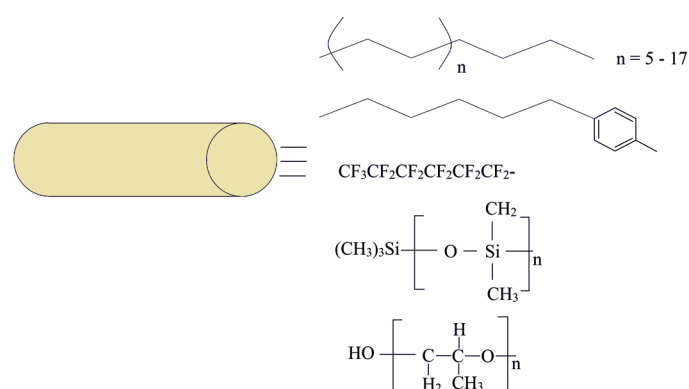
Najefektywniejszymi cieczami przemywającymi są przemywki na bazie środków powierzchniowo czynnych. Środki takie (surfaktanty bądź tenzydy) to substancje, które już przy bardzo niskich stężeniach zmieniają napięcie powierzchniowe cieczy, w której są rozpuszczone poprzez adsorbowanie się na granicy faz. Posiadają asymetryczną budowę cząsteczki, która składa się z fragmentu niepolarnego (węglowodorowego) oraz silnie polarnej grupy jonotwórczej lub niejonotwórczej (rys. 1, 2) (Tomczykiewicz-Potępa et al., 2010; Błaż, 2017). Po przekroczeniu w roztworach stężenia granicznego, związki te asocjują w wyniku czego powstają agregaty o koloidalnych wymiarach nazywane micelami. W roztworach wodnych wnętrze miceli ma charakter hydrofobowy. Cząstki trzymają natomiast w agregacie wiązania Van der Waalsa pomiędzy łańcuchami węglowodorowymi (Kłopotowska, 2017; Związki powierzchniowo czynne, 2018). Zewnętrzną część miceli stanowią jony, np.: karboksylowe, sulfonowe, siarczanowe, aminowe.

Mogą to być również grupy o polarnym charakterze, wynikającym z obecności układów polieterowych lub hydroksylowych. Dookoła miceli występuje zwiększone uporządkowanie cząsteczek wody, które solwują wspomniane grupy polarne.



Rys. 1. Schemat budowy cząstki surfaktantu, czyli środka powierzchniowo czynnego

Fig. 1. The structure of the surfactant particle

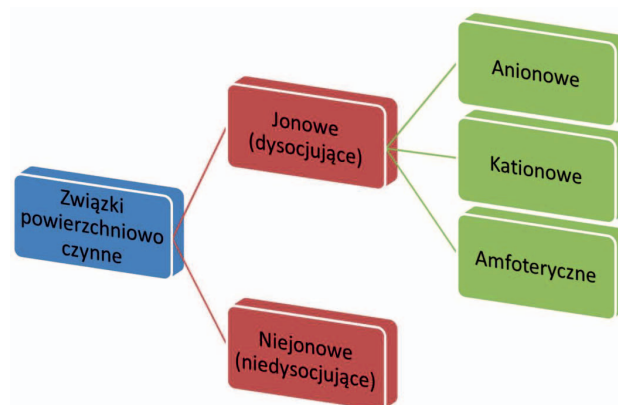


Rys. 2. Przykładowe grupy hydrofobowe

Fig. 2. Examples of hydrophobic groups

W związku z występowaniem biegunowej budowy środków powierzchniowo czynnych charakteryzują się one występowaniem w cząsteczce asymetrycznie rozłożonych zarówno polarnych grup hydrofilowych, jak również grup niepolarnych, czyli lipofilowych. Taka budowa SPCZ daje możliwość korelowania w zorientowany sposób na powierzchni kontaktu fazowego, a tym samym zmniejszenia napięcia powierzchniowego (grupa polarna zakotwiczona w fazie wodnej), ponieważ wykazuje do niej powinowactwo. Z kolei grupa niepolarna jest powiązana z grupą hydrofobową, ponieważ właśnie do niej wykazuje powinowactwo. Do grup polarnych zalicza się: OH, COOH, COOR, CHO, NH₄, NO₂, SO₃Me, Cl, Br, I. Natomiast do grup niepolarnych można zaliczyć: łańcuchy węglowodorowe alkilowe, (głównie grupy o dłuższym łańcuchu węglowym, tj. C₁₁-C₁₇), grupy aryłowe (fenyłowa C₆H₅, naftyłowa C₁₀H₇); grupy steroidowe (Związki powierzchniowo czynne, 2018).

Stosowane do sporządzania cieczy przemysłowych środki powierzchniowo czynne biorąc pod uwagę ładunek elektryczny, jakim obdarzona jest cząsteczka można podzielić na dwie grupy (rys. 3). Pierwszą grupę stanowią środki jonowe (dysocjujące), a do drugiej grupy zalicza się środki niejonowe (niedysocjujące).



Rys. 3. Podział środków powierzchniowo czynnych

Fig. 3. Division of surfactants

Zgodnie z rysunkiem 3 do grupy jonowych środków powierzchniowo czynnych zaliczane są środki anionowo czynne. W tej grupie środków część powierzchniowo czynną stanowi anion cząsteczki. Do tej grupy związków zaliczane są mydła, siarczany alkilowe, niektóre sulfoniowy alkilowe i alkiloarylosulfonowe, sole kwasów tłuszczowych. Działanie anionowych środków powierzchniowo czynnych jest bardzo zbliżone do działania mydeł, przy czym należy pamiętać, że są one mniej wrażliwe na jony obecne w wodzie twardej. Środki tego rodzaju wykazują największą skuteczność działania w zakresie pH od 11 do 12. Niekiedy można obserwować synergistyczne działanie tych środków w mieszaninie ze środkami innego rodzaju. Anionowe środki powierzchniowo czynne ulegają mocnemu pienieniu i przy opracowywaniu cieczy przemysłowej należy zastosować środek odpieniający. Drugim rodzajem środków jonowych są środki kationowo czynne, w których część powierzchniowo czynną stanowi kation cząsteczki. Do tej grupy zaliczyć można czwartorzędowe zasady amoniowe, zwane również mydłami inwertowanymi. Natomiast trzecim rodzajem jonowych środków powierzchniowo czynnych są środki amfoteryczne (amfolityczne). W tego rodzaju środkach w zależności od pH roztworu część powierzchniowo czynna może przyjmować postać kationu lub anionu. W tej grupie wyróżnia się anionowe i kationowe czynne lecytyny i proteiny (Kłopotowska, 2017; Związki powierzchniowo czynne, 2018).

Drugą grupę środków powierzchniowo czynnych reprezentują środki niejonowe (niedysocjujące), które składają się zarówno z grup polarnych, jak i grup niepolarnych. Rodzaj emulsji, jaki otrzymuje się wskutek ich użycia jest uzależniony od wartości HLB¹ oraz rozpuszczalności w wodzie. Niejonowe

¹HLB (*Hydrophilic-Lipophilic Balance*) – liczba, której wartość wyznaczana jest doświadczalnie lub empirycznie na podstawie ustalonej budowy strukturalnej środków chemicznych tworzących dany układ.

środki powierzchniowo czynne są znacznie lepsze w użyciu niż jonotwórcze, ponieważ nie są wrażliwe na dodatki w postaci elektrolitów i na zmiany pH w szerokim zakresie. Wykazują również dobrą zdolność zwilżania powierzchni, co z uwagi na wiązanie tłoczonego po przemywce cementu, jest pożądane przy projektowaniu cieczy przemywających. Do tej grupy SPC zalicza się alkohole, estry, eteroestry kwasów tłuszczowych i hydroksykwasów karboksylowych oraz cukrów wielowodorotlenowych (Zima, 2014). Najbardziej znanymi są spany i tweeny. W tego rodzaju środkach powierzchniowo czynnych przeważają alkohole alifatyczne ($n=10-16$), a najczęściej stosowanymi są: laurylowy $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{CH}_2\text{OH}$; cetylowy $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{CH}_2\text{OH}$, oraz stearylowy $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{CH}_2\text{OH}$, a także estry i ich mieszaniny. Są to na ogół słabe emulgatory typu W/O². **Spany** są niskotoksycznymi środkami o dobrej rozpuszczalności w etanolu i olejach. W H₂O nie ulegają rozpuszczaniu, a ich niskie wartości liczby HLB powodują, że umożliwiają wytworzenie emulsji typu W/O. Z kolei **tweeny** są obojętne. Niekiedy, dzięki wysokiej wartości HLB można je stosować jako solubilizatory (Kłopotowska, 2017; Środki powierzchniowo czynne, 2018). Wspomnieć należy, iż niejonowe środki powierzchniowo czynne są silnymi emulgatorami, dlatego też zasługują na szczególną uwagę, jeśli proces czyszczenia jest ukierunkowany na usuwanie olejów bądź ropopochodnych, co ma miejsce w przemyśle naftowym. Ze względu na to, że nie są wrażliwe na twardość wody, korzystne jest ich stosowanie w warunkach otworowych. Ponadto mogą być one używane łącznie z anionowymi i kationowymi środkami powierzchniowo czynnymi.

Analizując powyższe rozważania obserwuje się znaczne różnice w działaniu środków powierzchniowo czynnych należących do danej grupy. Zróżnicowana budowa danego środka, a w związku z tym inny rodzaj reakcji wymusza prowadzenie badań skuteczności emulgowania pozostałości osadu płuczkowego. Wyniki badań dowodzą, że optymalne działanie danego środka jest powiązane zarówno z budową i mechanizmami działania środka oraz ze ściśle określonym przedziałem koncentracji danej substancji w projektowanej cieczy przemywającej. Powyższe aspekty przyczyniły się do prób wykonania analizy korelacyjnej, w której uwzględniono skuteczność działania cieczy przemywających pod kątem rodzaju użytego środka.

Prace badawcze

Celem zrealizowanych prac było przeprowadzenie analizy korelacyjnej skuteczności usuwania osadu płuczkowego za

pomocą cieczy na osnowie jonowych i niejonowych środków powierzchniowo czynnych. Na podstawie powyższego udowodniono następującą tezę: *skuteczność usuwania osadu płuczkowego zależy od mechanizmu działania środka użytego do projektowania cieczy przemywającej.*

W realizowanych badaniach laboratoryjnych zmiennymi były:

- rodzaj i budowa środka użytego do sporządzania cieczy przemywającej;
- koncentracja (stężenie) środka powierzchniowo czynnego w cieczy przemywającej.

Badania usuwania osadu płuczkowego, na podstawie których wykonano analizę korelacyjną skuteczności działania cieczy na osnowie jonowych (anionowych) i niejonowych SPC wykonano w oparciu o pomiar stopnia usunięcia osadu płuczkowego z powierzchni rotora wiskozymetru obrotowego. Podczas prowadzenia badań zanurzano rotor wiskozymetru obrotowego (fot. 1), odwzorowującego powierzchnię rur okładzinowych w płuczce i wytwarzano na jego powierzchni osad, wskutek obrotu rotora z określoną prędkością. Liniową prędkość przepływu cieczy przemywającej przeliczono na prędkość obrotową według poniższych zależności:



Fot. 1. Rotor zanurzony w płuczce (wytwarzanie osadu płuczkowego)
Phot. 1. A rotor immersed in a mud (production of mud sludge)

Zależność pomiędzy prędkością liniową, a prędkością kątową:

$$\omega = \frac{v}{R} \quad (1)$$

gdzie:

ω – prędkość kątowa [rad/s] lub opuszczając radiany [1/s = s⁻¹];

R – promień okręgu, którego fragmentem jest zakreślany łuk [m];

v – prędkość liniowa, czyli „zwykła” prędkość punktu [m/s];

$$v = \omega \cdot R \quad (2)$$

Podstawiając definicję kąta do wzoru na prędkość liniową otrzymano:

$$\omega = \frac{\Delta\alpha}{\Delta t} = \frac{\frac{\Delta L}{R}}{\Delta t} = \frac{\Delta L}{\Delta t R} \quad (3)$$

² Emulgator w/o – woda rozpuszczona w oleju.

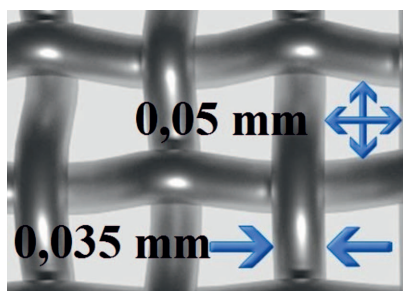
Następnie uwzględniając, że prędkość liniowa to:

$$\frac{\Delta L}{\Delta t} = v \quad (4)$$

Otrzymano:

$$\omega = \frac{v}{R} \quad (5)$$

Powierzchnia rotora poddana została modyfikacji poprzez nałożenie na rotor siatki metalowej (fot. 2). Modyfikacja taka pozwalała na wychwycenie większej ilości osadu z płuczki podczas ruchu obrotowego rotora. Po wytworzeniu osadu na zmodyfikowanej powierzchni rotora (fot. 3), osad płuczkowy poddano wymywaniu w cieczy przemylawającej. Prędkość przepływu cieczy wiertniczej tłoczonej w przestrzeni pozarurowej, przeliczona została na prędkość obrotową rotora, która wynosiła 60 obr/min. Ustalono również zgodny z warunkami otworowymi 5-minutowy czas kontaktu cieczy z przemylaną próbką. Podczas prowadzenia badań skuteczności działania cieczy przemylających w pierwszym etapie ważono rotor wiskozymetru obrotowego przed wytworzeniem osadu (m_0).



Fot. 2. Siatka stalowa nakładana na rotor wiskozymetru obrotowego

Phot. 2. Steel mesh applied to the rotor of the viscometer



Fot. 3. Osad płuczkowy wytworzony na zmodyfikowanej powierzchni rotora

Phot. 3. Mud sludge produced on the modified surface of the rotor

Następnie na powierzchni rotora tworzący osad płuczkowy, po czym ponownie określano masę rotora z osadem (m_1). Po usunięciu osadu z powierzchni rotora, poprzez jego ruch obrotowy w cieczy przemylawającej ponownie ważono rotor z pozostałością osadu płuczkowego po płukaniu (m_2). Z uzyskanych wartości określono procentową skuteczność usuwania osadu płuczkowego według wzoru:

$$\% = 100 \cdot \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_0} \quad (6)$$

gdzie:

% – procent wymycia osadu;

m_0 – masa rotora przed testem (bez osadu);

m_1 – masa rotora z osadem płuczkowym;

m_2 – masa rotora z pozostałością osadu płuczkowego (po przemyciu).

W celu przeprowadzenia korelacji skuteczności usuwania osadu płuczkowego wytypowano dwa rodzaje środków jonowych, tj.: SL2251 oraz SL327 oraz osiem środków niejonowych, tj.: RL8, CHZ, RR21, RB2, RB7, RL1080, RL22, RR26 (tab. 1). Do badań usuwania osadu płuczkowego użyto cieczy

Tabela 1. Wyniki badań efektywności usuwania wytworzonego na powierzchni rotora osadu płuczkowego za pomocą określonych stężeń cieczy na osnowie jonowych i niejonowych środków powierzchniowo czynnych

Table 1. Results of the effectiveness of removing the mud sludge produced on the surface of the rotor by means of specific concentrations of liquid ionic and nonionic surfactants

Stężenie cieczy przemylawającej [%]	Skuteczność usuwania osadu płuczkowego przez ciecz przemylawającą [%]									
	Środki jonowe		Środki niejonowe							
	1	2	A	B	C	D	E	F	G	H
	SL2251	SL327	RL8	CHZ	RR21	RB2	RB7	RL1080	RL22	RR26
0,1%	63,21	71,76	55,11	67,21	62,65	44,26	59,43	74,50	71,50	60,14
0,5%	68,34	76,00	71,10	72,10	69,31	60,16	71,45	85,56	80,88	68,41
1,0%	69,12	72,87	74,13	74,77	75,84	67,54	73,47	78,31	73,90	74,44
2,5%	66,65	67,26	76,28	76,36	74,66	69,99	69,37	76,68	72,29	73,48
5,0%	61,37	62,51	75,63	75,61	67,94	62,56	70,98	70,85	59,91	72,38
7,5%	52,77	52,28	70,28	71,99	62,99	61,02	56,43	69,66	57,05	68,41
10,0%	47,65	45,25	61,67	68,09	61,79	51,24	36,91	66,56	41,19	64,93

przemylające o następujących koncentracjach środków: 0,1%; 0,5%; 1%; 2,5%; 5%; 7,5%; oraz 10,0%.

W tabeli 1 zestawiono wyniki usuwania osadu płuczkowego za pomocą cieczy przemylających sporządzonych na bazie wytypowanych środków.

Analiza korelacyjna skutecznego zakresu stężeń środka w cieczy przemylającej (w zależności od rodzaju użytego środka)

W celu przeprowadzenia analizy korelacyjnej porównaniu poddano następujące zakresy stężeń:

- 0,1% do 1,0% środków (1, 2, A, B, C, D, E, F, G, H),
- 0,5% do 2,5% środków (1, 2, A, B, C, D, E, F, G, H),
- 1,0% do 5,0% środków (1, 2, A, B, C, D, E, F, G, H),
- 2,5% do 7,5% środków (1, 2, A, B, C, D, E, F, G, H),
- 5,0% do 10,0% środków (1, 2, A, B, C, D, E, F, G, H).

Aby porównać skuteczny zakres stężeń działania cieczy przemylających na bazie różnego rodzaju środków przeprowadzono analizę korelacyjną dla powyżej wytypowanych zakresów stężeń środków jonowych z wytypowanymi zakresami stężeń środków niejonowych. Na podstawie przeprowadzonej analizy korelacyjnej uzyskano przedstawione w tabelach 3 do 18 wartości współczynnika korelacji Pearsona, na podstawie, którego dokonano porównania współzależności skutecznego zakresu stężeń cieczy przemylających.

Analizując uzyskane wyniki badań przeprowadzono podstawową analizę korelacyjną w oparciu o współczynnik Pearsona, który jest używany do określania zależności zmienności prostoliniowych, gdzie zmiana jednych wartości skutkuje proporcjonalną zmianą średnich wartości drugiej cechy.

Współczynnik korelacji Pearsona obliczono na podstawie wzoru (7).

$$r_{x,y} = \frac{\text{cov}(x,y)}{Sd_x \cdot Sd_y} \tag{7}$$

gdzie:

x – odczyty procentowej zmiany skuteczności usuwania

osadu w zależności od wzrastającego stężenia środka jonowego (1, 2);

y – odczyty procentowej zmiany skuteczności usuwania osadu w zależności od wzrastającego stężenia środka niejonowego (A, B, ..., H);

n – liczba prób.

Interpretacja siły związków korelacyjnych

Współczynnik korelacji Pearsona:

- poniżej 0,2 – korelacja słaba (praktycznie brak związku);
- 0,2–0,4 – korelacja niska (zależność wyraźna);
- 0,4–0,6 – korelacja umiarkowana (zależność istotna);
- 0,6–0,8 – korelacja wysoka (zależność znaczna);
- 0,8–0,9 – korelacja bardzo wysoka (zależność bardzo duża);
- 0,9–1,0 – korelacja całkowita (zależność praktycznie pełna).

Aby przeprowadzić analizę korelacyjną, wykonano następujący cykl obliczeń (zależności efektywności usuwania osadu płuczkowego przez określony zakres stężeń cieczy przemylającej). Najpierw obliczono kowariancję (3), która określa zależność liniową między zmiennymi x i y oraz estymator największej wiarygodności Sd_x , Sd_y (9), (10), dający najmniejsze wartości odchyień. Przykładowe dane obliczeniowe przedstawiono w tabeli 2.

$$\text{cov}(x,y) = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n} \tag{8}$$

$$Sd_x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}} \tag{9}$$

$$Sd_y = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n}} \tag{10}$$

gdzie:

n – liczba prób.

Następnie obliczano wskaźnik determinacji liniowej (11) informujący o procencie wyjaśnionej liniowo zmienności zmiennej zależnej przez zmienną niezależną.

Tabela. 2. Dane obliczeniowe z korelacji skuteczności usuwania osadu przez ciecz na bazie środka jonowego SL2251 (zakres stężeń 5,0% do 10,0%) oraz cieczy na bazie środka niejonowego RL8 (zakres stężeń 0,5% do 2,5%)

Table. 2. Calculation data from the correlation of the effectiveness of the mud sludge by the liquid based on the ionic agent SL2251 (concentration range 5.0% to 10.0%) and the liquid based on the non-ionic agent RL8 (concentration range 0.5% to 2.5%)

n	x_i	y_i	$(x_i - \bar{x})$	$(y_i - \bar{y})$	$(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$	$(x_i - \bar{x})^2$	$(y_i - \bar{y})^2$
1	61,37	71,10	7,4	-2,7	-20,36	55,35	7,49
2	52,77	74,13	-1,2	0,3	-0,34	1,35	0,09
3	47,65	76,28	-6,3	2,4	-15,34	39,44	5,97
	$\Sigma = 161,79$	$\Sigma = 221,51$			$\Sigma = -36,045$	$\Sigma = 96,138$	$\Sigma = 13,545$

$$WD = r_{xy}^2 \cdot 100\% \quad (11)$$

- x_i – odczyty procentowej zmiany skuteczności usuwania osadu przez ciecz na bazie środka jonowego (zakres stężeń 5,0% do 10,0%)
- y_i – odczyty procentowej zmiany skuteczności usuwania osadu przez ciecz na bazie środka niejonowego (zakres stężeń 0,5% do 2,5%)
- wartości średnie

$$\bar{x} = 53,9 \quad \bar{y} = 73,8$$

- po podstawieniu do wzorów

$$\text{cov}(x, y) = \frac{-36,045}{3} = -12,015067$$

$$Sd_x = \sqrt{\frac{96,138}{3}} = 5,66$$

$$Sd_y = \sqrt{\frac{13,545}{3}} = 2,12$$

$$r_{x,y} = \frac{12,015067}{5,66 \cdot 2,12} = 0,9988655$$

$$r = 0,9 \in \langle 0,9; 1,0 \rangle$$

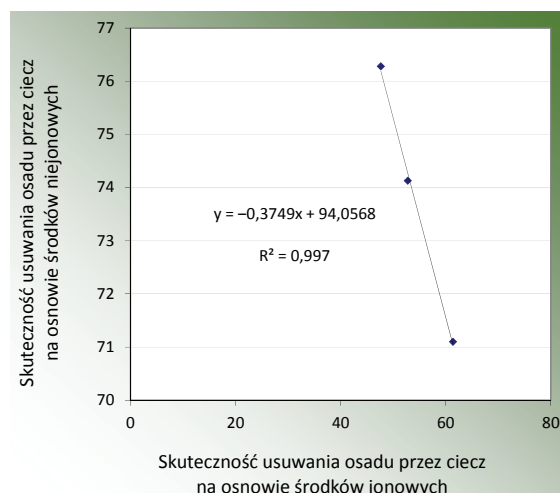
$$WD = (0,99886)^2 \cdot 100\%$$

$$WD = 99,77\%$$

Powyżej przedstawiona analiza korelacyjna wyników badań opisuje całkowitą korelację pomiędzy analizowanymi cechami. Dla analizowanego zakresu skuteczności usuwania osadu przez ciecze, których stężenie środka jonowego zawierało się w przedziale od 5,0% do 10,0% odnotowano liniowy trend w porównaniu ze skutecznością usuwania osadu przez ciecze, których stężenie środka niejonowego zawierało się w przedziale od 0,5% do 2,5%. Interpretując wartości skuteczności działania cieczy przemywających przy określonych zakresach stężeń, widoczna jest praktycznie pełna korelacja pomiędzy analizowanymi cechami. Wraz ze wzrostem skuteczności usuwania osadu płuczkowego przez ciecze przemywające na bazie środka jonowego o zakresie stężeń 5,0% do 10,0% niemalże liniowo wzrasta skuteczność usuwania osadu przez ciecze na bazie środka niejonowego w zakresie stężeń od 0,5% do 2,5% (rys. 4). Przykład bardzo słabej korelacji działania analizowanych zakresów stężeń cieczy przemywających przedstawia rysunek 5.

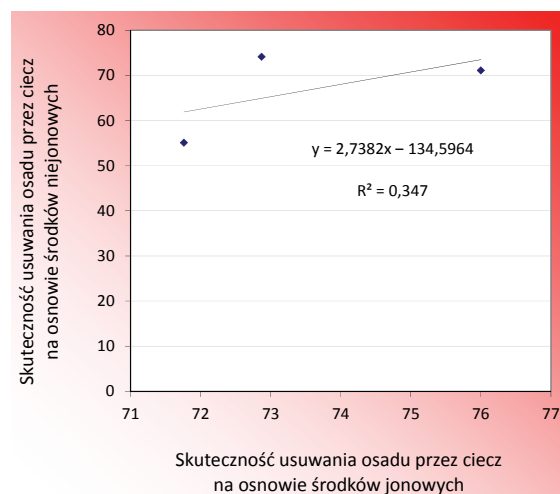
Wyniki badań i dyskusje

Na podstawie przeprowadzonej analizy korelacyjnej uzyskanych wyników badań skuteczności usuwania osadu przez



Rys. 4. Zależność przebiegu skuteczności usuwania osadu przez ciecz przemywającą na osnowie środka jonowego SL2251 (zakres stężeń 5,0% do 10,0% i cieczy przemywającej na osnowie środka niejonowego RL8 (zakres stężeń 0,5% do 2,5%). Korelacja całkowita

Fig. 4. Dependence of the mud sludge removal efficiency of the washing liquid SL2251 ionic agent (range of concentrations 5.0% to 10.0% and washing liquid on the basis of the non-ionic agent RL8 (concentration range 0.5% to 2.5%). Total correlation



Rys. 5. Zależność przebiegu skuteczności usuwania osadu przez ciecz przemywającą na osnowie środka jonowego SL327 (zakres stężeń 0,1% do 1,0% i cieczy przemywającej na osnowie środka niejonowego RL8 (zakres stężeń 0,1% do 1,0%). Korelacja niska

Fig. 4 Dependence of the mud sludge removal efficiency of the washing liquid SL327 ionic agent (range of concentrations 0.1% to 1.0% and washing liquid on the basis of the non-ionic agent RL8 (concentration range 0.1% to 1.0%). Low correlation

cieczy na osnowie środków jonowych oraz środków niejonowych odnotowano zróżnicowane dopasowanie analizowanych wartości w zależności od interpretowanego przedziału stężeń. W większości przypadków uzyskano wartości liniowej regresji R^2 w zakresie korelacji bardzo wysokiej lub całkowitej. Analiza korelacyjna pozwala określić, jak mocne dopasowanie występuje pomiędzy skutecznością usuwania osadu przez

cieczy przemywające o różnym charakterze działania (w badanych zakresie stężeń). Na podstawie analizy statystycznej wykonano badania związku korelacyjnego dla skuteczności działania cieczy przemywających w różnych zakresach stężeń i o różnym mechanizmie działania. W tabelach 3 do 16 zestawiono wartości współczynnika korelacji Pearsona R^2 dla cieczy przemywających sporządzonych na bazie środków jonowych i niejonowych. Następnie w tabelach wyróżniono grupy współczynników R^2 dla cieczy o najlepszym dopasowaniu w badanych przedziałach stężeń. Analiza taka pozwoliła na określenie podobieństwa skuteczności działania cieczy na osnowie środków o charakterze jonowym i niejonowym.

Na zestawieniu w tabelach od 3 do 18 kolorem czerwonym zaznaczono wartości współczynnika Pearsona o najwyższych wartościach. Wraz ze wzrostem wartości R^2 wzrasta nasilenie intensywności koloru czerwonego. W celu pogrupowania wyników uzyskanych dla badanych środków, niebieskimi liniami zaznaczono charakterystykę zbieżności działania analizowanych cieczy przemywających. kolorem zielonym zaznaczono natomiast niestandardowe działanie środków. Działanie standardowe to wysoka zbieżność działania środków w tych samych analizowanych zakresach stężeń. Charakterystyka taka przebiega od lewej górnej strony tabeli do prawej dolnej strony tabeli (zaznaczenie kolorem żółtym w tabeli 7).

Tabela 3. Zbieżność działania środka jonowego SL2251 i środka niejonowego CHZ

Table 3. Convergence of the ionic agent SL2251 and to non-ionic agent CHZ

		Jonowy SL2251				
		Zakres stężeń	0,1–1,0	0,5–2,5	1,0–5,0	2,5–7,5
Niejonowy CHZ	0,1–1,0	0,9463	0,2869	0,8663	0,9097	0,9995
	0,5–2,5	0,9356	0,3075	0,8813	0,9223	1,0000
	1,0–5,0	0,6693	0,0771	0,1175	0,1656	0,4167
	2,5–7,5	0,5211	0,7907	0,9758	0,9501	0,7635
	5,0–10,0	0,8312	0,4693	0,9662	0,9867	0,9724

Tabela 4. Zbieżność działania środka jonowego SL2251 i środka niejonowego RB2

Table 4. Convergence of the ionic agent SL2251 and to non-ionic agents RB2

		Jonowy SL2251				
		Zakres stężeń	0,1–1,0	0,5–2,5	1,0–5,0	2,5–7,5
Niejonowy RB2	0,1–1,0	0,9630	0,2512	0,8377	0,8853	0,9961
	0,5–2,5	0,9857	0,1902	0,7800	0,8344	0,9815
	1,0–5,0	0,0965	0,9998	0,6369	0,5693	0,2933
	2,5–7,5	0,9984	0,1313	0,7100	0,7705	0,9537
	5,0–10,0	0,4857	0,8188	0,9628	0,9336	0,7328

Tabela 5. Zbieżność działania środka jonowego SL327 i środka niejonowego CHZ

Table 5. Convergence of the ionic agent SL327 and to non-ionic agent CHZ

		Jonowy SL327				
		Zakres stężeń	0,1–1,0	0,5–2,5	1,0–5,0	2,5–7,5
Niejonowy CHZ	0,1–1,0	0,1686	0,8948	0,9857	0,8651	0,9962
	0,5–2,5	0,1520	0,9083	0,9905	0,8802	0,9985
	1,0–5,0	0,9121	0,1473	0,3227	0,1164	0,3787
	2,5–7,5	0,0115	0,9605	0,8409	0,9764	0,7957
	5,0–10,0	0,0536	0,9803	0,9952	0,9656	0,9837

Tabela 6. Zbieżność działania środka jonowego SL327 i środka niejonowego RB2

Table 6. Convergence of the ionic agent SL327 and to non-ionic agent RB2

		Jonowy SL327				
		Zakres stężeń	0,1–1,0	0,5–2,5	1,0–5,0	2,5–7,5
Niejonowy RB2	0,1–1,0	0,1998	0,8688	0,9745	0,8364	0,9897
	0,5–2,5	0,2617	0,8153	0,9463	0,7785	0,9696
	1,0–5,0	0,3169	0,5941	0,3855	0,6386	0,3292
	2,5–7,5	0,3353	0,7490	0,9043	0,7082	0,9360
	5,0–10,0	0,0202	0,9456	0,8141	0,9344	0,7664

Tabela 7. Zbieżność działania środka jonowego SL2251 i środka niejonowego R21

Table 7. Convergence of the ionic agent SL2251 and to non-ionic agent R21

		Jonowy SL2251				
		Zakres stężeń	0,1–1,0	0,5–2,5	1,0–5,0	2,5–7,5
Niejonowy R21	0,1–1,0	0,8311	0,4422	0,9557	0,9797	0,9806
	0,5–2,5	0,9171	0,0015	0,3861	0,4543	0,7281
	1,0–5,0	0,4989	0,8085	0,2785	0,9400	0,7443
	2,5–7,5	0,9043	0,3622	0,9162	0,9504	0,9966
	5,0–10,0	0,9960	0,1479	0,7314	0,7903	0,8632

Tabela 8. Zbieżność działania środka jonowego SL2251 i środka niejonowego RR26

Table 8. Convergence of the ionic agent SL2251 and to non-ionic agent RR26

		Jonowy SL2251				
		Zakres stężeń	0,1–1,0	0,5–2,5	1,0–5,0	2,5–7,5
Niejonowy RR26	0,1–1,0	0,9060	0,3595	0,9146	0,9492	0,9970
	0,5–2,5	0,9286	0,0037	0,4073	0,4759	0,7471
	1,0–5,0	0,8178	0,4870	0,9723	0,9904	0,9663
	2,5–7,5	0,5675	0,7516	0,9881	0,9684	0,8019
	5,0–10,0	0,8733	0,4103	0,9415	0,9696	0,9885

Tabela 9. Zbieżność działania środka jonowego SL327 i środka niejonowego RR21

Table 9. Convergence of the ionic agent SL327 and to non-ionic agent RR21

		Jonowy SL327				
		Zakres stężeń	0,1–1,0	0,5–2,5	1,0–5,0	2,5–7,5
Niejonowy RR21	0,1–1,0	0,0665	0,9720	0,9982	0,9550	0,9898
	0,5–2,5	0,6608	0,4293	0,6375	0,3843	0,6929
	1,0–5,0	0,0167	0,9514	0,8242	0,9692	0,7774
	2,5–7,5	0,1128	0,9389	0,9984	0,9152	0,9996
	5,0–10,0	0,3129	0,7694	0,9179	0,7298	0,9472

Tabela 10. Zbieżność działania środka jonowego SL327 i środka niejonowego RR26

Table 10. Convergence of the ionic agent SL327 and to non-ionic agent RR26

		Jonowy SL327				
		Zakres stężeń	0,1–1,0	0,5–2,5	1,0–5,0	2,5–7,5
Niejonowy RR26	0,1–1,0	0,1146	0,9376	0,9982	0,9136	0,9997
	0,5–2,5	0,6402	0,4508	0,6582	0,4055	0,7127
	1,0–5,0	0,0459	0,9849	0,9924	0,9717	0,9789
	2,5–7,5	0,0037	0,9766	0,8734	0,9884	0,8349
	5,0–10,0	0,0835	0,9604	0,9992	0,9406	0,9953

Tabela 11. Zbieżność działania środka jonowego SL2251 i środka niejonowego RL8

Table 11. Convergence of the ionic agent SL2251 and to non-ionic agent RL8

		Jonowy SL2251				
		Zakres stężeń	0,1–1,0	0,5–2,5	1,0–5,0	2,5–7,5
Niejonowy RL8	0,1–1,0	0,9993	0,1230	0,6986	0,7599	0,9483
	0,5–2,5	0,9104	0,3523	0,9103	0,9458	0,9977
	1,0–5,0	0,8330	0,0080	0,2658	0,3289	0,6072
	2,5–7,5	0,4589	0,8390	0,9531	0,9196	0,7087
	5,0–10,0	0,7393	0,5814	0,9948	1,0000	0,9239

Tabela 12. Zbieżność działania środka jonowego SL2251 i środka niejonowego RB7

Table 12. Convergence of the ionic agent SL2251 and to non-ionic agent RB7

		Jonowy SL2251				
		Zakres stężeń	0,1–1,0	0,5–2,5	1,0–5,0	2,5–7,5
Niejonowy RB7	0,1–1,0	0,9999	0,1131	0,6844	0,7467	0,9413
	0,5–2,5	0,0169	0,9601	0,4531	0,3849	0,7422
	1,0–5,0	0,7513	0,0359	0,1818	0,2380	0,5069
	2,5–7,5	0,2681	0,9553	0,8350	0,7809	0,5153
	5,0–10,0	0,7819	0,5318	0,9851	0,9972	0,9483

Tabela 13. Zbieżność działania środka jonowego SL327 i środka niejonowego RL8

Table 13. Convergence of the ionic agent SL327 and to non-ionic agent RL8

		Jonowy SL327				
		Zakres stężeń	0,1–1,0	0,5–2,5	1,0–5,0	2,5–7,5
Niejonowy RL8	0,1–1,0	0,3471	0,7381	0,8969	0,6970	0,9298
	0,5–2,5	0,1195	0,9338	0,9975	0,9093	0,9999
	1,0–5,0	0,7762	0,3055	0,5105	0,2642	0,5690
	2,5–7,5	0,0285	0,9327	0,7928	0,9538	0,7432
	5,0–10,0	0,0146	0,9992	0,9673	0,9545	0,9432

Tabela 14. Zbieżność działania środka jonowego SL327 i środka niejonowego RB7

Table 14. Convergence of the ionic agent SL327 and to non-ionic agent RB7

		Jonowy SL327				
		Zakres stężeń	0,1–1,0	0,5–2,5	1,0–5,0	2,5–7,5
Niejonowy RB7	0,1–1,0	0,3617	0,7245	0,8874	0,6828	0,9218
	0,5–2,5	0,4982	0,4095	0,2167	0,4549	0,1703
	1,0–5,0	0,8534	0,2169	0,4099	0,1805	0,4681
	2,5–7,5	0,1304	0,8011	0,6119	0,8363	0,5540
	5,0–10,0	0,0290	0,9939	0,9827	0,9847	0,9641

Tabela 15. Zbieżność działania środka jonowego SL2251 i środka niejonowego RL1080

Table 15. Convergence of the ionic agent SL2251 and to non-ionic agent RL1080

		Jonowy SL2251				
		Zakres stężeń	0,1–1,0	0,5–2,5	1,0–5,0	2,5–7,5
Niejonowy RL1080	0,1–1,0	0,4624	0,2229	0,0194	0,0429	0,2226
	0,5–2,5	0,9973	0,1396	0,7208	0,7805	0,9586
	1,0–5,0	0,5691	0,7502	0,9884	0,9650	0,8032
	2,5–7,5	0,9986	0,1298	0,7080	0,7686	0,9527
	5,0–10,0	0,6304	0,6941	0,9980	0,9870	0,8505

Tabela 16. Zbieżność działania środka jonowego SL2251 i środka niejonowego RL22

Table 16. Convergence of the ionic agent SL2251 and to non-ionic agent RL22

		Jonowy SL2251				
		Zakres stężeń	0,1–1,0	0,5–2,5	1,0–5,0	2,5–7,5
Niejonowy RL22	0,1–1,0	0,3669	0,3084	0,0018	0,0124	0,1475
	0,5–2,5	0,9969	0,1423	0,7244	0,7838	0,9692
	1,0–5,0	0,4654	0,8342	0,9558	0,9231	0,7146
	2,5–7,5	0,9969	0,1425	0,7246	0,7840	0,9602
	5,0–10,0	0,5023	0,8058	0,9697	0,9416	0,7473

Tabela 17. Zbieżność działania środka jonowego SL327 i środka niejonowego RL1080

Table 17. Convergence of the ionic agent SL327 and to non-ionic agent RL1080

		Jonowy SL327					
		Zakres stężeń	0,1–1,0	0,5–2,5	1,0–5,0	2,5–7,5	5,0–10,0
Niejonowy RL1080	0,1–1,0	0,9918	0,0333	0,1472	0,0189	0,1912	
	0,5–2,5	0,3240	0,7594	0,9113	0,7192	0,9418	
	1,0–5,0	0,0035	0,9771	0,8745	0,9888	0,8331	
	2,5–7,5	0,3373	0,7471	0,9030	0,7063	0,9349	
	5,0–10,0	0,0000	0,9921	0,9130	0,9581	0,8771	

Tabela 18. Zbieżność działania środka jonowego SL327 i środka niejonowego RR22

Table 18. Convergence of the ionic agent SL327 and to non-ionic agent RR22

		Jonowy SL327					
		Zakres stężeń	0,1–1,0	0,5–2,5	1,0–5,0	2,5–7,5	5,0–10,0
Niejonowy RL22	0,1–1,0	1,0000	0,0075	0,0855	0,0017	0,1211	
	0,5–2,5	0,3203	0,7627	0,9135	0,7228	0,9436	
	1,0–5,0	0,0264	0,9360	0,7980	0,9565	0,7489	
	2,5–7,5	0,3200	0,7629	0,9137	0,7230	0,9437	
	5,0–10,0	0,0158	0,9528	0,8268	0,9703	0,7802	

Na podstawie przeprowadzonej analizy korelacyjnej pierwszej grupy środków (tab. 3 do 6) stwierdzono, że cieczce przemylające z niewielkimi ilościami środków niejonowych CHZ oraz RB2 (zakresy stężeń 0,1–1% oraz 0,2–2,5%) wykazywały porównywalny trend skuteczności usuwania osadu co cieczce przemylające o dużych zakresach stężeń (5,0–10,0%) środków jonowych SL2251 oraz SL327 (wyróżnienie kolorem zielonym w tabelach od 1 do 4). Podobny zakres działania cieczy przemylających zaobserwowano również w drugiej grupie analizowanych środków zestawionych w tabelach 7 do 10. Skuteczność usuwania osadu przez cieczce przemylające sporządzone przy użyciu niskich zakresów stężeń (od 0,1% do 1%) środków niejonowych RR21 oraz RR26 była porównywalna do skuteczności działania wysokich koncentracji cieczy, sporządzonych na bazie środków jonowych SL2251 i SL327. Jednak w tej grupie widoczny był większy zakres porównywalnych stężeń środków jonowych, który zawierał się w przedziale stężeń od 1% do 10% (wyróżnienie kolorem zielonym). Zaznaczona niebieską linią zbieżność działania środków posiadała inny przebieg niż w przypadku środków z grupy pierwszej. Analiza trzeciej grupy środków zestawionych w tabelach od 11 do 14 obrazuje podobieństwo w zakresie działania niskich wartości stężeń (zakres 0,1% do 1%) środków niejonowych RL8 oraz RB7 do koncentracji środków jonowych SL2251 oraz SL327 zawierających się w zakresie od 5% do 10%. W ostatniej z analizowanych grupie środków zaznaczonych w tabelach od 15 do 18 charakterystyka skuteczności usuwania osadu w zależności od koncentracji również wykazuje podobieństwo do poprzednich grup środków. Jednakże w tej grupie środków satysfakcjonujące zakresy korelacji obserwuje się dla koncentracji 0,5% do 5% środków niejonowych RL1080 oraz RL22 ze środkami jonowymi SL2251 oraz SL327 o zakresie stężeń 2,5% do 5% w cieczy przemylającej.

We wszystkich analizowanych grupach pominięto interpretację wysokich wartości korelacji przebiegu działania środków, które wykazywały trend wzrostu efektywności wraz ze wzrostem stężenia (dolne zakresy tabel oraz zakresy o tych samych

stężeniach środków, np: 0,1% do 1% środka jonowego oraz 0,1% do 1% środka niejonowego). Działanie takie było efektem wspomnianego wcześniej przewidywalnego wzrostu skuteczności działania analizowanych cieczy.

Na podstawie analizy wyników korelacji skuteczności usuwania osadu płuczkowego przez cieczce przemylające sporządzone na bazie jonowych i niejonowych środków powierzchniowo czynnych stwierdzono, że korzystniejsze jest stosowanie niskich koncentracji środków niejonowych. Cieczce przemylające sporządzone przy użyciu 0,1% do 2,5% niejonowych środków powierzchniowo czynnych, charakteryzują się porównywalną charakterystyką skuteczności usuwania osadu, jak cieczce przemylające o koncentracji 5% do 10% środka powierzchniowo czynnego o charakterze jonowym. Uzyskane przy pomocy powyższej analizy korelacyjnej wyniki badań pozwalają stwierdzić, iż stosowanie niejonowych środków powierzchniowo czynnych do sporządzania cieczy przemylających jest korzystne z ekonomicznego punktu widzenia, ponieważ niewielkie stężenia pozwalają uzyskać zadowalający rezultat prac.

Podsumowanie i wnioski końcowe

Przeprowadzona analiza korelacyjna pozwoliła przedstawić podobieństwo skuteczności działania cieczy przemylających sporządzonych na bazie jonowych i niejonowych środków powierzchniowo czynnych w określonych zakresach stężeń. W zależności od rodzaju i tym samym mechanizmu działania użytego do sporządzania cieczy środka powierzchniowo czynnego zmienia się skuteczność usuwania osadu płuczkowego.

Na podstawie uzyskanych wyników oraz sporządzonej matematycznej analizy sformułowano następujące wnioski:

- 1) zależnie od mechanizmu działania środka powierzchniowo czynnego użytego do sporządzania cieczy przemylającej zmianie ulega skuteczność usuwania osadu płuczkowego wytworzonego na powierzchni formacji skalnej;

- 2) ciecze przemywające sporządzone na osnowie niskich zakresów stężeń niejonowych środków powierzchniowo czynnych (0,1% do 1%) wykazują powinowactwo do skuteczności usuwania osadu przez ciecze przemywające sporządzone na osnowie dużych koncentracji (5% do 10%) jonowych środków powierzchniowo czynnych;
- 3) na podstawie podobieństwa działania środków dla danego zakresu stężeń oraz przy znajomości koncentracji i efektu usuwania osadu możliwe jest wstępne określenie rodzaju środka użytego do sporządzania cieczy przemywającej;
- 4) przeprowadzona analiza korelacyjna efektywności usuwania osadu płuczkowego z powierzchni formacji skalnej potwierdza słusność wyboru niejonowych środków powierzchniowo czynnych w celu sporządzania cieczy przemywających;
- 5) należy mieć na uwadze, że w celu opracowania cieczy przemywającej dla konkretnych warunków geologiczno technicznych należy przeprowadzić badania skuteczności usuwania osadu wytworzonego na powierzchni skały przez konkretny rodzaj płuczki wiertniczej, co pozwoli na odpowiedni dobór stężenia środka powierzchniowo czynnego.

Artykuł powstał na podstawie pracy badawczej pt.: *Analiza możliwości poprawy oczyszczenia przestrzeni pierścieniowej otworu wiertniczego przed zabiegiem cementowania* – praca INiG – PIB na zlecenie MNiSW; nr zlecenia: 58/KW/17, nr archiwalny: DK-4100/58/17.

Literatura

- Błaż S., 2017. Nowe rodzaje cieczy przemywających osady z płuczki inwersyjnej przed zabiegiem cementowania otworów wiertniczych. *Nafta-Gaz*, 5: 302–311. DOI: 10.18668/NG.2017.05.02.
- Habrat S., Raczkowski J., Zawada S., 1980. Technika i technologia cementowań w wiertnictwie. Warszawa: Wydawnictwo Geologiczne.
- Jasiński B., 2016. Ocena wpływu cieczy przemywającej na jakość zacementowania rur w otworze wiertniczym po użyciu płuczki glikolowo-potasowej. *Nafta-Gaz*, 6: 413–421. DOI: 10.18668/NG.2016.06.04.
- Kłopotowska M., 2017. Środki powierzchniowo czynne. <http://biotechnologia.pl/kosmetologia/srodki-powierzchniowo-czynne,10933> (dostęp: sierpień 2017).
- Kremieniewski M., 2016. Ograniczenie ekshalacji gazu w otworach wiertniczych poprzez modyfikację receptur oraz kształtowanie się struktury stwardniałych zacinów uszczelniających. Kraków: Prace Naukowe Instytutu Nafty i Gazu – Państwowego Instytutu Badawczego, 199: 1–400.
- Kremieniewski M., 2018. Ocena skuteczności oczyszczania kolumny rur okładzinowych przed cementowaniem na podstawie badań przy użyciu wiskozymetru obrotowego. *Nafta-Gaz*, 9: 59–66. DOI: 10.18668/NG.2018.09.06.
- Kremieniewski M., Kędziński M., Rzepka M., 2018a. Poprawa oczyszczenia przestrzeni pierścieniowej otworu wiertniczego przed zabiegiem cementowania. Kraków: Prace Naukowe Instytutu Nafty i Gazu – Państwowego Instytutu Badawczego, 220: 1–172. DOI: 10.18668/PN2018.220.
- Kremieniewski M., Kędziński M., Rzepka M., 2018b. Symulator przepływu cieczy wiertniczych – zasada pomiaru i możliwości badawcze. *Nafta-Gaz*, 7: 46–53. DOI: 10.18668/NG.2018.07.05.
- Kremieniewski M., Rzepka M., 2016. Przyczyny i skutki przepływu gazu w zacementowanej przestrzeni pierścieniowej otworu wiertniczego oraz metody zapobiegania temu zjawisku. *Nafta-Gaz*, 9: 722–728. DOI: 10.18668/NG.2016.09.06.
- Kremieniewski M., Rzepka M., 2018a. Hybrydowa ciecz przemywająca do oczyszczania przestrzeni pierścieniowej otworu wiertniczego. *Nafta-Gaz*, 5: 372–379. DOI: 10.18668/NG.2018.05.04.
- Kremieniewski M., Rzepka M., 2018b. Wpływ superplastyfikatora na hydrofilowość zacinów cementowych. *Nafta-Gaz*, 10: 10–16. DOI: 10.18668/NG.2018.10.06.
- Kremieniewski M., Rzepka M., Kędziński M., 2018c. Influence of the contact time of the preflush fluid with the filter cake on the effectiveness of the purification of the annular space. *Nafta-Gaz*, 1: 29–36. DOI: 10.18668/NG.2018.01.03.
- Nelson E.B., 1990. Well Cementing. Schlumberger Educational Service, Houston, Teksas, USA.
- Stryczek S. (red.), 2016. Studia nad doborem zacinów uszczelniających w warunkach wierceń w basenie pomorskim. Kraków: Wydawnictwa Naukowe AHG: 1–229. ISBN 978-83-7464-877-6.
- Stryczek S., Gonet A., 2005. Kierunki ograniczania migracji gazu z przestrzeni pierścieniowej otworu wiertniczego. WUG, 3: 10–13.
- Tomczykiewicz-Potępa A., Śliwa K., Śliwa P., 2010. Możliwość zastosowania związków powierzchniowo-czynnych do ekstrakcji substancji aktywnych z materiału roślinnego. *Czasopismo Techniczne. Chemia*, 107: 343–352.
- Uliasz M., Chudoba J., Herman Z., 2006. Płuczki wiertnicze z inhibitorami polimerowymi i ich oddziaływanie na przewiercane skały. Kraków: Prace Instytutu Nafty i Gazu, 139: 72–77.
- Uliasz M., G. Zima, S. Błaż, B. Jasiński, 2015. Ocena właściwości cieczy wiertniczych w aspekcie zapobiegania migracji gazu w otworach na przedgórzu Karpat. *Nafta-Gaz*, 1: 11–17.
- Zima G. 2014. Wpływ właściwości płuczek wiertniczych na jakość cementowania w gazonośnych poziomach miocenu. *Nafta-Gaz*, 12: 899–907.
- Związki powierzchniowo czynne, 2018. <http://www.rokopro.pl/zwiazki-powierzchniowo-czynne> (dostęp: 20.01.2018).



Dr inż. Marcin KREMIEŃEWSKI
 Adiunkt w Zakładzie Technologii Wiercenia
 Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
 ul. Lubicz 25 A
 31-503 Kraków
 E-mail: marcin.kremieniewski@inig.pl