

7. Пат. 2268985 С2 Российской Федерации, МПК E21B 21/14. Установка для бурения скважин с очисткой забоя пеной / Мартынов В.Н.; заявл. 11.03.2004; опубл. 27.01.2006. –7 с.

8. Пат. 42464 України, МПК (2009) F04F 1/00. Схема обв'язки циркуляційної системи при бурінні з промиванням свердловини піною / Савик В.М., Лях М.М., Тимошенко В.М., Лужаниця О.В., Педенко Ю.О., Сєрий В.О.; заявл. 30.12.2008; опубл. 10.07.2009. Бюл. № 13. –6 с.

УДК 621:622.276

ОРЛОВСЬКИЙ В.М. к.т.н., доцент кафедри обладнання нафтових і газових промислів, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

## ПОЛЕГШЕНІ ТАМПОНАЖНІ МАТЕРІАЛИ

*Розглянуто питання розширення асортименту полегшених і легких тампонажних матеріалів. Запропоновано рецептури нових полегшених і легких тампонажних композицій для цементування свердловин в умовах геологорозвідувальних площ і нафтогазових родовищ України.*

*Рассмотрен вопрос расширения ассортимента облегченных и легких тампонажных материалов. Предложены рецептуры новых облегченных и легких тампонажных композиций для цементирования скважин в условиях геологоразведочных площадей и нефтегазовых месторождений Украины.*

*The question of expansion of assortment of the facilitated and easy cement of materials. The new facilitated and easy cement of materials are offered for cementation of wells in of geological areas and oil-and-gas deposits of Ukraine.*

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Питання необхідності зниження густини цементного розчину виникло у зв'язку із збільшенням глибини нафтових і газових свердловин. Основною причиною застосування розчинів пониженої густини є намагання здійснити підйом тампонажного розчину на велику висоту в один ступінь. Тому велика увага приділяється дослідженню і використанню полегшених (густина ( $\rho$ )  $\geq 1400 \div \leq 1650$  кг/м<sup>3</sup>) і легких тампонажних розчинів ( $\rho \leq 1400$  кг/м<sup>3</sup>). Зростання глибин нафтових і газових свердловин призвело до ускладнення умов кріплення, які вимагають докорінної зміни деяких властивостей тампонажного розчину – зниження густини, сповільнення часу загуснення, підвищення температурної, корозійної та ударної стійкості цементного каменю. Досягнення указаних вимог неможливе при застосуванні чистих портландцементів, проте дані вимоги легко реалізуються при

введенні до тампонажного розчину мінеральних домішок, наприклад бентоніту, спученого перліту, пуцоланів та ін.

**Аналіз досліджень і публікацій.** З аналізу наукових джерел відомо, що існують три способи зниження густини тампонажних розчинів [1, 2]:

1) зниження густини самого в'язучого матеріалу, або введення легкої домішки-наповнювача;

2) підвищення водосумішевого відношення з одночасним збільшенням водоутримуючої здатності суміші;

3) заміщення частини твердих або рідких фаз газоподібною фазою:

а) шляхом аерації;

б) введенням штучних або природних мікрочасток (капсул);

в) введенням спеціально оброблених, спучених матеріалів з великим ступенем кавернозності та низькою насипною масою.

Вибір того чи іншого методу зниження густини визначається умовами застосування та технологічними можливостями.

Серед найбільш поширених в Україні полегшених тампонажних матеріалів застосовуються матеріали, що відносяться до першого та другого способів, або об'єднують в собі якості, притаманні одночасно композиціям першого та другого способів полегшення тампонажних розчинів. На принципі одночасного зниження густини і збільшення водосумішевого відношення були створені тампонажні матеріали, які вироблялися в Україні в промислових масштабах.

В 70-х роках ХХ-го сторіччя в СРСР на базі „ВНИИКрнефть” були розроблені полегшені тампонажні цементи ОЦГ – на основі суміші шлаку, портландцементного клінкеру і трепелу при співвідношенні компонентів 1:1 (за масою) та ОШЦ – на основі суміші шлаку і глини (наприклад бентоніту). Діапазон густини тампонажних розчинів на основі ОЦГ –  $1450 \div 1600 \text{ кг/м}^3$ , водосумішеве відношення (В/С) =  $0,7 \div 1,1$ , допустимі температури використання  $40 \div 150 \text{ }^\circ\text{C}$ . Діапазон густини тампонажних розчинів на основі ОШЦ –  $1450 \div 1550 \text{ кг/м}^3$ , В/С =  $0,85 \div 0,95$ , рекомендована температура використання для ОШЦ-120 –  $80 \div 160 \text{ }^\circ\text{C}$ , для ОШЦ-200 –  $160 \div 220 \text{ }^\circ\text{C}$  [3, 4]. Цементи ОЦГ і ОШЦ вироблялись в Україні Констянтинівським ВАТ „Завод обважнювачів”.

В Україні були розроблені також полегшені цементи ПЦТШ-Пол5-100 і ПЦТШ-Пол4-100 до складу яких входить 50 % цементного клінкеру і 50 % полегшувальної домішки – цеолітизованого туфу, та 3 % гіпсового каменю [5]. Діапазон густини тампонажних розчинів на базі таких цементів  $1400 \div 1500 \text{ кг/м}^3$  при В/С =  $1 \pm 0,2$ . Рекомендована температура використання  $50 \div 100 \text{ }^\circ\text{C}$ . Останнім часом виготовляється лише цемент ПЦТШ-Пол5-100 [6].

Таким чином, всі полегшені тампонажні цементи, які вироблялись або виробляються в Україні в заводських умовах, мають нижню границю густини  $1450 \text{ кг/м}^3$ . Крім того, ці в'язучі матеріали призначені для цементування свердловин при температурах вищих  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ .

До тампонажних композицій в яких застосовується другий спосіб зниження густини можна віднести цементно-глинисті суміші (ЦГС) з вмістом глини (як правило, бентоніту)  $3 \div 30$  % від маси портландцементу. За рахунок високого водосумішевого відношення (до 1,8) можливе доведення густини ЦГС до  $1300 \div 1350$  кг/м<sup>3</sup>, але через невелику міцність, низьку термо- (до 50 °С) і корозійну стійкість та складність приготування (як правило, портландцемент замішують на раніше приготовленому глинистому розчині) в останні роки використання ЦГС практично припинилось.

У вісімдесятих–дев'яностих роках ХХ-го сторіччя широко впроваджувались полегшені тампонажні композиції на основі суміші ПЦТІ-100 і фільтроперліту (ЦФС) розроблені Полтавським відділенням УкрДГРІ спільно з Київським університетом [7]. Густина таких сумішей знаходилась в межах  $1350 - 1550$  кг/м<sup>3</sup>. Недоліком ЦФС є невисокі фізико-механічні показники цементного каменю (при густині нижче  $1470$  кг/м<sup>3</sup> його міцність не відповідає існуючим вимогам) та обмежений температурний інтервал використання ( $50 - 100$  °С).

Останні, приблизно, тридцять років при цементуванні свердловин застосовують цементно-зольні тампонажні суміші (ЦЗС). Зокрема, при використанні від 40 до 60 % (від маси сухого матеріалу) золи Курахівської ТЕС можна одержувати рецептури густиною  $1550 \div 1650$  кг/м<sup>3</sup> [8].

ЦЗС відрізняються високою термо- і корозійною стійкістю, рекомендований температурний діапазон застосування  $50 - 140$  °С. При зниженні густини ЦЗС до  $1450$  кг/м<sup>3</sup> –  $1470$  кг/м<sup>3</sup> у воду замішування вводять стабілізатор. Подальше зниження густини призводить до значного погіршення фізико-механічних властивостей цементного каменю.

**Постановка задачі.** На даний час промисловістю України в заводських умовах виготовляється лише один вид полегшеного тампонажного цементу ПЦТІІІ-Пол5-100 з нижньою границею густини  $1450$  кг/м<sup>3</sup>. Він призначений для температур вищих  $50$ °С. Проте сьогодні на більшості нафтогазових родовищах України існують умови для застосування полегшених і легких тампонажних розчинів, зокрема у процесі цементування зон з аномально низькими пластовими тисками; пластів, схильних до поглинання промивальних рідин і тампонажних розчинів; при підніманні рівня цементних розчинів на значні висоти. Тому необхідно проводити дослідження направлені на розширення асортименту тампонажних матеріалів пониженої густини для застосування в різноманітних гірничо-геологічних умовах глибоких нафтогазових свердловин.

**Виклад матеріалу і результати.** Колективом дослідників на базі лабораторного комплексу Полтавського відділення УкрДГРІ проводились роботи з розроблення тампонажних матеріалів пониженої густини. Було розроблено полегшені і легкі тампонажні композиції (П(Л)ТК) на основі портландцементу, що містить домішку  $3 - 12$  масових часток % спученого перлітового піску (СПП) [9].

У процесі досліджень використовували наступні матеріали:

- портландцементи тампонажні для низьких і нормальних температур (ПЦТІ-50), для помірних і підвищених температур (ПЦТІ-100) [10];
- полегшений тампонажний цемент ПЦТШ-Пол5-100 [10];
- спучений перлітовий пісок (СПП).

Спучений перлітовий пісок отримують шляхом термічної обробки вулканічної породи перліту (при температурах  $800 \div 1000$  °С) згідно вимог [11]. У процесі нагрівання частинки перліту, які мають шкаралупоподібну структуру, спучуються, з них видаляється  $3 \div 5$  % зв'язаної води, і об'єм матеріалу збільшується в  $10 - 20$  разів.

За окислами СПП складається з  $65 \div 75$  %  $\text{SiO}_2$  і  $10 \div 15$  %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , а також містить  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ .

У залежності від фракційного складу існує два види СПП: рядовий (СПП(Р)) і мілкий (СПП(М)), в свою чергу в межах кожного із цих двох видів існує поділ за насипними масами  $1 \text{ м}^3$  матеріалу. СПП(Р) буває трьох марок: 75, 100, 150, СПП(М) – двох: 75, 100. Марка спученого перлітового піску відповідає масі  $1 \text{ м}^3$  матеріалу в кілограмах.

Особлива, шкаралупоподібна структура зерен спученого перлітового піску (їх пористість складає  $80 \div 90$  %) є передумовою втягнення повітря у процесі замішування П(Л)ТК.

Встановлено, що після перемішування П(Л)ТК на консистометрі КЦ-5 протягом  $10 - 30$  хвилин в нормальних умовах (моделювання приготування тампонажного розчину) його густина збільшується в межах від  $0,5$  % для П(Л)ТК, які містять  $5$  % СПП, до  $2$  % для рецептур із вмістом СПП  $10$  %. Причому, це збільшення густини припадає на перші  $10$  хвилин. Таке явище можна пояснити заповненням повітряних порожнин в частинках СПП надлишковою незв'язаною водою з відповідним невеликим зменшенням об'єму системи.

Відомо також, що при використанні полегшених (легких) тампонажних розчинів, які містять повітреутримуючу домішку, або аерованих, можливе зростання їх густини під впливом тиску [2, 6, 12].

У табл. 1 і 2 наведені технологічні властивості розчинів і фізико-механічні властивості тампонажного каменю з використанням домішки спученого перлітового піску двох різновидів. З наведених даних видно, що такі тампонажні розчини мають широкий діапазон густин (від полегшених до легких) і низькі показники водовідділення.

Таблиця 1

*Технологічні властивості полегшених і легких тампонажних розчинів з домішками СПП*

Масова частка компонентів у суміші, мас. часток %				В/С	Густина, кг/м <sup>3</sup>	Розчинність, м	Водовід- ділення, мл
ПЦТ1-50	ПЦТ1-100	СПП(Р)	СПП(М)				
97	-	3	-	0,65	1510	0,220	1,5
95	-	5	-	0,70	1390	0,200	1,0
93	-	7	-	0,74	1340	0,215	0
90	-	10	-	0,90	1230	0,190	2,0
	95	5	-	0,70	1400	0,205	1,0
	93	7	-	0,75	1350	0,200	1,0
	90	10	-	0,90	1250	0,205	1,0
	88	12	-	0,95	1160	0,200	0
	95	-	5	0,75	1410	0,210	6,0
	92	-	8	0,80	1330	0,195	2,0
	90	-	10	0,95	1240	0,190	6,5

Аналіз наведених у табл. 2 даних дає змогу визначити наступні закономірності:

– використання у якості домішки, що знижує густина, різних видів спученого перлітового піску СПП(Р) або СПП(М) суттєво не відбивається на фізико-механічних властивостях каменю;

– збільшення вмісту СПП в суміші призводить до падіння величин міцності і адгезії та зростання газопроникності. Це, в основному, пов'язано із збільшенням вмісту води в П(Л)ТК;

– в інтервалі температур від 20 до 60 °С спостерігається покращення фізико-механічних показників каменю на основі П(Л)ТК. Таке явище є більш характерним для ранніх термінів твердіння (2 доби) і обумовлено інтенсифікацією процесів гідратації, із зміцненням кристалізаційних контактів, зниженням пористості тощо. При зберіганні зразків протягом 28 діб в аналогічних умовах властивості каменю значно менше залежать від температури;

– при зростанні температури до 80 °С суттєво (в 2 – 3 рази) знижується головний показник каменю міцність, що свідчить про обмежену термостійкість П(Л)ТК. Рекомендований температурний діапазон застосування легкого тампонажного розчину 15–60 °С, допустимий – 10–70 °С;

– камінь на основі П(Л)ТК відповідає вимогам [10] в частині міцності на вигин для полегшених тампонажних портландцементів (виключенням є рецептури з густиною нижчою 1200 кг/м<sup>3</sup>, призначені для низьких і нормальних температур). Слід враховувати, що вимоги стандарту розповсюджуються на полегшені тампонажні розчини густиною 1400 кг/м<sup>3</sup> – 1650 кг/м<sup>3</sup>, а наведені в таблиці 2 рецептури П(Л)ТК мають густина меншу, в середньому, на 200 кг/м<sup>3</sup> і більшість з них належить до категорії легких ( $\rho \leq 1350$  кг/м<sup>3</sup>).

Таблиця 2

## Фізико-механічні властивості тампонажного каменю з домішками СПП

Склад суміші, мас. част. %			ρ, кг/м <sup>3</sup>	Час тиснення, днів	Міцність (вигин/с тиснення), МПа				Газопроникність, мД			Адгезія до металу, МПа	
ПЦТІ-50 (ПЦТІ-100)	ВПП				t = 20 °С	t = 40 °С	t = 60 °С	t = 80 °С	t = 20 °С	t = 40 °С	t = 60 °С	t = 20 °С	t = 60 °С
	(Р)	(М)											
97	3		1550	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				28	2,7	5,6	7,0	3,5	-	-	-	-	-
95	5		1400	2	0,9	2,0	2,2	1,4	6,0	2,5	1,5	1,3	2,5
				28	2,4	4,3	5,9	2,8	-	-	-	-	-
93	7		1340	2	-	-	-	-	12,1	4,0	2,7	-	-
				28	2,2	3,7	3,8	2,1	-	-	-	-	-
90	10		1250	2	0,7	1,1	1,8	0,9	16,5	7,5	5,9	0,4	0,9
				28	1,5	2,0	3,0	1,8	-	-	-	-	-
88	12		1190	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				28	0,7	1,4	2,1	0,9	-	-	-	-	-
95	-	5	1450	2	0,8	1,8	2,4	1,2	5,1	4,3	2,2	1,0	2,1
				28	1,8	5,0	5,9	2,5	-	-	-	-	-
92	-	8	1330	2	0,7	1,0	1,8	0,9	-	-	-	-	-
				28	1,5	3,1	3,9	2,0	-	-	-	-	-
88	-	12	1200	2	0,4	0,7	1,1	0,5	14,6	9,0	5,4	0,3	0,7
				28	0,9	1,8	2,3	1,0	-	-	-	-	-

Слід відзначити, що в температурному інтервалі 40 – 60 °С величина адгезії цементного каменю на основі П(Л)ТК до металу у 2 – 5 разів переважає, а газопроникність приблизно на 30% нижча від аналогічних показників на основі ПЦТІІІ-Пол4-100 [6].

При проведенні порівняльних досліджень з вивчення величини усадки каменю з П(Л)ТК і на основі ПЦТІІІ-Пол5-100, тампонажний розчин заливали у металеву циліндричну ємність. Циліндр з тампонажним розчином закривали непроникною для рідини плівкою, через яку передавався прикладений тиск і поміщали в автоклав консистометра КЦ-3. В автоклаві створювали відповідний тиск і температуру (випробування проводили при температурі 50 °С і тиску 10 МПа). Після витримки в таких умовах протягом доби зразок виймали з автоклава і вимірювали об'єм циліндра, вільний від цементного каменю. Було встановлено, що композиції на основі П(Л)ТК з густиною 1320 кг/м<sup>3</sup> мають усадку (відношення об'єму вільного від цементного каменю до початкового об'єму цементного розчину в циліндрі 7,5 %, в той же час усадка композицій на основі ПЦТІІІ-Пол5-100 з густиною 1460 кг/м<sup>3</sup> склала 9,0 %. Отже, за величиною усадки П(Л)ТК переважають стандартні полегшені тампонажні матеріали, маючи меншу усадку, при цьому вони мають меншу густину розчину.

Процес приготування сухої суміші портландцементу з СПП обумовлений специфічними особливостями спученого перлітового піску, зокре-

ма, його дуже малою насипною масою. З урахуванням цього було перевірено припущення, що в процесі транспортування сухої суміші цементу з СПП (якщо змішування компонентів здійснювалось на базі тампонажного підприємства) відбувається їх розшарування, тобто легкий СПП переміщується у верхні шари, а важкий цемент – у нижні. Перевірка здійснювалась на віброциклічній установці для вивчення зміни пошарової об'ємної маси багатокомпонентних систем. Проведені дослідження показали, що суттєвого розшарування сухої суміші в процесі вібрацій не відбувається. Різниця об'ємної маси верхнього та нижніх шарів не більша 3 % при терміні випробування 2 години. Таким чином при транспортуванні змішаних компонентів П(Л)ТК, суха суміш СПП з тампонажним цементом не потребує додаткового перемішування перед цементуванням на буровому майданчику.

При приготуванні П(Л)ТК в промислових умовах, в бункер однієї цементно-змішувальної машини (ЦЗМ) завантажують розрахункову масу цементу, а в бункер іншої – розрахункову масу СПП. У процесі змішування співвідношення швидкостей вивантаження ЦЗМ повинно відповідати заданому співвідношенню компонентів суміші.

Завантажену в бункер третьої ЦЗМ суху тампонажну суміш тампонажного портландцементу і СПП, для кращого перемішування, необхідно ще раз перевантажити в бункер четвертої ЦЗМ, призначеної для приготування тампонажного розчину під час цементування свердловини.

Безпосереднє приготування тампонажного розчину (П(Л)ТК) в процесі цементування необхідно здійснювати з використанням механічної осереднювальної ємності, що забезпечує безперервне перемішування тампонажного розчину і, відповідно, його однорідність.

**Висновки.** У процесі проведених розробки та досліджень (П(Л)ТК) були зроблені наступні висновки:

– на основі суміші портландцементу і СПП можна отримувати тампонажні розчини густиною від  $1160 \text{ кг/м}^3$  до  $1510 \text{ кг/м}^3$ , при цьому, максимальний вміст полегшувальної домішки становить 12 % від маси сухого матеріалу;

– для досягнення однакових значень густин при фіксованому водосумішевому відношенні (В/С) в суміш необхідно вводити СПП-75 меншу кількість, ніж СПП-100; тампонажні розчини на основі суміші портландцементу і СПП(Р) мають густину на 1–2 % нижчу, ніж їх аналоги з добавкою СПП(М);

– при фіксованому вмісті СПП в суміші за рахунок варіювання водосумішевого відношення можлива зміна густини від 2 до 8 % із збереженням задовільних показників водовідділення та рухливості;

– П(Л)ТК мають високу седиментаційну стійкість, яка відповідає існуючим для полегшених тампонажних розчинів стандартам [5];

- введення домішки СПП до тампонажного портландцементу призводить до незначного скорочення термінів прокачування тампонажних розчинів;
- час прокачування розчинів з П(Л)ТК можна регулювати за допомогою стандартного сповільнювача НТФК.

#### *Список літератури*

1. Данюшевский В.С. Справочное руководство по тампонажным материалам / В.С. Данюшевский, Р.М. Алиев, И.Ф. Толстых. –М.: Недра, 1987. –373 с.
2. Булатов А. И. Тампонажные материалы / А. И. Булатов, В. С. Данюшевский. –М.: Недра, 1987. –С. 164–167.
3. Новохатский Д. Ф. Специальные тампонажные цементы / Д.Ф. Новохатский // РНТС „Бурение” –1972. –№ 6. –С. 26–28.
4. Новохатский Д. Ф. Пути улучшения качества и перспективы производства тампонажных материалов для крепления нефтяных и газовых скважин / Д.Ф. Новохатский, В.А. Волошин // РНТС „Бурение” –1978. –№ 11. –С. 19–22.
5. ТУ У729755.01-94. портландцемент тампонажный полегшений для нормальных і помірних температур.
6. Горський В. Ф. Тампонажні матеріали і розчини / В.Ф. Горський\ . – Чернівці – 2006. –524 с.
7. РД 41 УССР 52-87. Облегченные тампонажные растворы с добавками фильтроперлита. Методические указания.
8. РД 41 УССР 185-87. Цементирование скважин в сложных горно-геологических условиях оптимальными тампонажными составами. Методические указания.
9. Пат. 13254 Україна, МПК С 09 К 8/50. Тампонажна суміш / Лужаниця О.В., Михайленко С.Г., Орловський В.М., Мартинов Д.В (Україна); – № и 2005 09726; Заявлено 17.10.05; Опубл. 15.03.06, Бюл. № 3.
10. ДСТУ БВ.2.7-88-99. Цементи тампонажні. Технічні умови.
11. ГОСТ 10832-91. Песок и щебень перлитовые вспученные. Технические условия.
12. Булатов А. И. Тампонажные материалы и технология цементирования скважин –М.: Недра, 1982. –С. 189.