

БУРІННЯ НАФТОВИХ І ГАЗОВИХ СВЕРДЛОВИН

УДК 622.245.4

НОВІ ПОЛЕГШЕНІ І ЛЕГКІ ТАМПОНАЖНІ МАТЕРІАЛИ

¹ В.М.Орловський, ² С.Г.Михайленко, ² О.В.Лужаниця

¹ Полтавський національний технічний університет, 36011, Полтава, Першотравневий пр., 24, тел./факс (0532) 22850, e-mail: k50@pntu.poltava.ua

² Полтавське відділення Українського державного геологорозвідувального інституту, 36002, Полтава, Фрунзе, 149, тел./факс (0532) 592666, e-mail: itb@bigmir.net

Розглянуто питання розширення асортименту доступних вітчизняних полегшених і легких тампонажних матеріалів, які можуть виготовлятися в умовах бурового майданчика. Запропоновані нові полегшені і легкі тампонажні матеріали для цементування свердловин в різних гірничо-геологічних умовах геологорозвідувальних площ і нафтогазових родовищ України.

Ключові слова: легкий тампонажний матеріал, полегшений тампонажний матеріал

Рассмотрен вопрос расширения ассортимента доступных отечественных облегченных и легких тампонажных материалов, которые могут изготавливаться в условиях буровой площадки. Предложены новые облегченные и легкие тампонажные материалы для цементирования скважин в различных горно-геологических условиях геологоразведочных площадей и нефтегазовых месторождений Украины.

Ключевые слова: легкий тампонажный материал, облегченный тампонажный материал

The question of expansion of assortment of the accessible domestic facilitated and easy cement of materials which can be made in the conditions of well site is considered. The new facilitated and easy cement of materials are offered for cementation of wells in the different mining-and-geological terms of geological areas and oil-and-gas deposits of Ukraine.

Keywords: facilitated cement of materials, easy cement of materials

Останнім часом велика увага приділяється дослідженню і використанню полегшених ($1400 \text{ кг/м}^3 \leq \rho \leq 1650 \text{ кг/м}^3$) і легких ($\rho \leq 1400 \text{ кг/м}^3$) тампонажних розчинів. Можливість широкого застосування таких матеріалів стала очевидною лише після перегляду вимог, які ставляться до механічної міцності цементного каменю. Необхідність такого перегляду виникла внаслідок росту глибин нафтових і газових свердловин, що 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 було неможливим при застосуванні чистих портландцементів, але легко здійснюється при введенні до тампонажного розчину мінеральних домішок, наприклад, бентоніту, спученого перліту і пуцоланів. Додавання до тампонажного матеріалу полегшувальних домішок значно знижує міцність цементного каменю, особливо в початкові терміни тужавіння.

Теоретичні розробки вітчизняних і зарубіжних вчених [1], а також досвід застосування спеціальних цементів з низькою міцністю каменю показали, що міцність при здавлюванні 3,5 МПа має достатній запас і такі композиції можуть бути признані надійними тампонажними матеріалами, призначеними для розмежування пластів у нафтових і газових свердловинах. У деяких випадках мінімальна величина механічної міцності цементного каменю, необхідна для надійного розмежування пластів, може бути ще меншою і становити 0,55 МПа на згин і близько 0,91 МПа на стиснення. Орієнтовні розрахунки, проведені А.І.Булатовим [2], показують, що для утримання обсадної колони діаметром 0,168 м і довжиною три тисячі метрів необхідно всього 30 м цементного кільця з міцністю при згині 0,1 МПа.

Не менш цікавим досвідом, який показав, що механічна міцність цементного каменю в затрубному просторі свердловини не є визначальним фактором, було впровадження полегшених цементно-глинистих сумішей, які знайшли широке застосування при цементуванні обсад-

них колон у вітчизняній і зарубіжній практиці. Але при цементуванні глибоких і надглибоких свердловин діапазон їх застосування обмежений низькою термостійкістю, а також підвищеними реологічними характеристиками, які не дозволяють одержати задовільні результати при розмежуванні тріщинуватих і кавернозних порід з низькими пластовими тисками [3].

Більш перспективними для одержання полегшених термостійких тампонажних розчинів є цементно-зольні суміші, де в якості полегшувальної домішки до портландцементів для помірних і підвищених температур використовується кисла зола виносу теплових електростанцій.

Вивченню впливу золи на властивості цементного каменю і бетону приділяється велике значення в галузі будівельних матеріалів. Установлено, що мінералогічний і гранулометричний склад зол впливає на міцність, довговічність і сульфатостійкість цементних зразків [4, 5, 6, 7, 8].

Роботами П.П.Будникова, П.І.Боженова, Ю.М.Бутта, Ю.С.Бурова, А.В.Волженського, І.О.Іванова, Л.Г.Шпинової та інших дослідників, які вивчали поведінку зол в умовах автоклавної обробки, встановлено, що при підвищених температурах твердіння аморфний кремнезем і алюмосилікатна складова золи взаємодіють з продуктами гідратації портландцементу, утворюючи гідрогранати і низькоосновні гідросилікати кальцію, які характеризуються термодинамічною стабільністю і є основними носіями міцності, тому утворений цементно-зольний камінь буде міцним, довговічним і не руйнуватиметься в свердловинах під дією високих температур. На основі цих робіт Б.В.Крихом були проведені дослідження цементно-зольних тампонажних сумішей для кріплення свердловин у температурному інтервалі 50–200⁰С та розроблені рекомендації по вибору їх оптимального складу [9]. Цементно-зольні розчини мають пониженої густину (1500–1700 кг/м³), відносно низькі реологічні характеристики, а утворений на їх основі камінь є термо- і корозійностійким.

На даний час промисловістю України в заводських умовах виготовляється тільки один вид полегшеного тампонажного цементу – марки ПЦПШ-Пол5-100 з нижньою границею густини 1450 кг/м³, призначений для цементування свердловин за температур, вищих 50⁰С. 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 існує нагальна необхідність розширення асортименту полегшених тампонажних сумішей, які придатні для різних гірничо-геологічних умов.

За останні роки колективом авторів у співпраці з Полтавським відділенням УкрДГРІ розроблено ряд нових полегшених і легких тампонажних матеріалів, які знайшли широке засто-

сування на бурових підприємствах України та СНД при кріпленні глибоких нафтових і газових свердловин. Однією з таких розробок є легкий тампонажний матеріал з густиною тампонажного розчину 1290–1350 кг/м³, який містить полегшувальну домішку фільтроперліт. Ця розробка знайшла широке застосування в об'єднаннях “Полтавнафтогазгеологія” і “Чернігівнафтогазгеологія” при цементуванні геологорозвідувальних свердловин. Її перевагами є термостійкість та низька густина тампонажного розчину. Проте такий матеріал має суттєвий недолік – велике водовідділення, що спричиняється гідростатичним тиском стовпа тампонажного розчину в процесі цементування.

Перспективною розробкою є полегшена тампонажна суміш (ПТС) з густиною розчину 1455–1570 кг/м³, де як полегшувальна домішка застосовується тонкодисперсне цеолітове борошно [10].

Цеолітове борошно (ЦБ) утворюється при помелі цеолітової руди і являє собою тонкодисперсний порошок коричнево-сірого кольору з густиною 2290 кг/м³ і з питомою поверхнею 540 м²/кг. Її хімічний склад у масових частках відсотка складає: SiO₂ – 69,43; Al₂O₃ – 13,04; Fe₂O₃ – 1,05; CaO – 2,10; MgO – 0,17; K₂O – 2,64; Na₂O – 2,06; P₂O₅ – 0,06.

Ефективність застосування ЦБ як полегшувальної домішки обумовлена відносно невисокою густиною сухого матеріалу; високою питомою поверхнею, яка приблизно удвічі вища, ніж у тампонажного портландцементу; особливою трубчастою формою частинок цеолітової муки, яка сприяє утриманню значних об'ємів вільної води у процесі замішування тампонажного розчину.

У таблиці 1 наведені результати досліджень технологічних властивостей полегшених тампонажних сумішей з домішкою ЦМ. ПТС мають широкий температурний діапазон застосування – 22–100⁰С. Розчини на їх основі характеризуються задовільними технологічними параметрами. Під час тужавіння таких композицій утворюється неусадковий цементний камінь з високими показниками адгезії, який за своїми фізико-механічними властивостями відповідає вимогам ДСТУ. Газопроникність тампонажного каменю із зростанням температури знижується і перебуває в межах 2,5–5,0 Мд.

Ще однією розробкою в частині полегшених і легких тампонажних матеріалів є тампонажна суміш з домішкою дрібнозернистого пустотілого заповнювача – зольних мікросфер, одержаних при певному режимі спалювання пиловидного вугільного палива в топках парових котлів на ТЕС. Густина таких розчинів 1100–1420 кг/м³, в залежності від співвідношення компонентів у суміші. Їх перевагами є термостійкість у поєднанні з низькою густиною розчину. Недоліком таких композицій є те, що при великій висоті стовпа тампонажного розчину, в процесі цементування, зольні мікросфери руйнуються під дією гідростатичного тиску, що призводить до седиментаційної нестабільності розчину і значного водовідділення.

Таблиця 1 – Технологічні властивості тампонажних розчинів на основі цеолітової муки

Склад ПТС, мас. част. %		В/С	Густина, кг/м ³	Розтічність, м	Водовідділення, мл	Час твердіння, діб	Міцність на стиснення, МПа			Адгезія, МПа	
ПЦП-100	ЦБ						22 °С 0,1 МПа	75 °С 30,0 МПа	100 °С 40,0 МПа	75 °С 30,0 МПа	100 °С 40,0 МПа
70	30	0,70	1620	0,20	7,0	2	3,5	7,4	-	4,1	-
65	35	0,75	1580	0,20	8,0	2	2,5	5,2	5,0	4,0	3,8
60	40	0,80	1550	0,20	9,5	2	2,0	4,5	4,5	3,1	3,3
55	45	0,80	1515	0,20	7,0	2	1,6	3,6	3,8	3,0	2,9
55	45	1,0	1450	0,24	10,0	2	1,0	2,6	2,6	1,5	1,7

Таблиця 2 – Технологічні властивості тампонажних розчинів з домішкою адсорбенту КОГ

Склад суміші, мас. часток, %			В/С	Пластифікатор „Дофен” (від маси сухого матеріалу), %	Густина, кг/м ³	Розтічність, м	Водовідділення, мл	Час твердіння, діб	Міцність на стиснення, МПа		
ПЦП-50	ПЦП-100	КОГ							22 °С 0,1 МПа	40 °С 10,0 МПа	75 °С 30,0 МПа
90	-	10	1,0	-	1340	0,215	0	2	1,2	1,9	-
85	-	15	1,0	-	1205	0,205	0	2	0,9	1,4	-
85	-	15	0,55	1,0	1400	0,200	0	2	2,8	4,5	-
-	90	10	1,0	-	1350	0,215	0	2	-	-	2,9
-	85	15	1,0	-	1210	0,200	0	2	-	-	2,2
-	85	15	0,55	1,0	1405	0,200	0	2	-	-	6,5

Серед останніх розробок у даному напрямку є легкий (полегшений) тампонажний розчин (Л(П)ТР), який містить в якості полегшувальної домішки 5–20 масових часток відсотка гідрофобізованого адсорбенту КОГ, що викликає газонасичення тампонажного розчину [11].

КОГ – гідрофобізований тонкодисперсний порошок білого (світло-жовтого) кольору з насипною масою 400 кг/м³, гідрофобізованість не менше 60%. Виготовляється на основі молотого каоліну, обробленого спеціальними поверхнево-активними речовинами.

Під час замішування тампонажного портландцементу з домішкою КОГ відбувається інтенсивне піноутворення, тому в процесі приготування суміші перемішування здійснюється протягом 10 хв., що забезпечує відносно однорідну повітряно-водо-цементну дисперсію.

Оптимальна домішка КОГу складає 10–15% по масі (табл. 2), при цьому водосумішеве відношення дорівнює 1,0.

Під дією гідростатичного тиску 10 МПа густина розчину з домішкою 10% КОГу підвищується на 15%, а при вмісті 15% КОГу – на 20%. Для зведення до мінімуму цього ефекту були розроблені рецептури з пониженим вмі-

стом рідини замішування. Розтічність таких розчинів підвищується за рахунок введення суперпластифікатора. У пластифікованих Л(П)ТР під дією гідростатичного тиску 10 МПа густина розчину підвищується лише на 2–3%, крім того у таких рецептур більше ніж удвічі зростає міцність каменю.

Загалом Л(П)ТР з домішками КОГу мають низьку газопроникність (для полегшених сумішей). Через 2 доби тужавіння за температури 75 °С газопроникність каменю становить 1,0–1,5 Мд.

Іншою розробкою в області полегшених тампонажних матеріалів є розчини на основі портландцементу або цементно-зольної суміші з домішкою 0,04–0,11 масових часток відсотка реагенту на основі ксантанової смоли. Густина таких розчинів – 1460–1530 кг/м³ [12]. Їх перевагами є висока стабільність тампонажного розчину, термостійкість і підвищена міцність каменю.

Перспективною розробкою в частині полегшених і легких тампонажних матеріалів є композиції, що містить в якості полегшувальної домішки 3–12 масових часток відсотка здутого перлітового піску [13]. Такі тампонажні розчи-

Таблиця 3 – Технологічні властивості полегшених і легких розчинів з домішкою СПП

Масова частка компонентів у суміші, мас. часток %				В/С	Густина, кг/м ³	Розтічність, м	Водовідділення, мл
ПЦТІ-50	ПЦТІ-100	ЗПП(Р)	ЗПП(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

Таблиця 4 – Фізико-механічні властивості тампонажного каменю з домішкою СПП

Склад суміші, мас. часток %			Густина, кг/м ³	Час тужавіння, дб	Міцність на стиснення, МПа			Газопроникність, мД		
ПЦТІ-50 (ПЦТІ-100)	ЗПП(Р)	ЗПП(М)			22 °С	40 °С	60 °С	22 °С	40 °С	60 °С
97	3	-	1550	2	2,7	5,6	7,0	-	-	-
95	5	-	1400	2	2,4	4,3	5,9	6,0	2,5	1,5
93	7	-	1340	2	2,2	3,7	3,8	12,1	4,0	2,7
90	10	-	1250	2	1,5	2,0	3,0	16,5	7,5	5,9
88	12	-	1190	2	0,7	1,4	2,1	-	-	-
95	-	5	1450	2	1,8	5,0	5,9	5,1	4,3	2,2
92	-	8	1330	2	1,5	3,1	3,9	-	-	-
88	-	12	1200	2	0,9	1,8	2,3	14,6	9,0	5,4

ни мають низьку густину – 1160–1510 кг/м³ і низькі показники водовідділення. Температура їх застосування 20–60⁰С.

Здутий перлітовий пісок (ЗПП) отримують шляхом термічної обробки перліту за температури 800–1000⁰С. У процесі нагрівання частинки перліту шкаралупчастої структури скупчуються і з них виділяється 3–5% зв'язаної води. При цьому об'єм матеріалу збільшується в 10–20 разів. Залежно від фракційного складу існує два види ЗПП, рядовий – ЗПП(Р) і мілкий – ЗПП(М), а в межах кожного виду є ще поділ по насипним масам 1 м³. ЗПП(Р) буває трьох марок: 75, 100, 150, ЗПП(М) – двох: 75, 100. Марка відповідає масі (в кг) 1 м³ матеріалу.

Приготування сухої суміші цементу з домішкою ЗПП на бурових площадках здійснюють за допомогою цементно-змішувальних машин. Закачування тампонажного розчину у свердловину проводиться з використанням механічної осереднювальної ємності.

У таблицях 3 і 4 наведені технологічні властивості полегшених і легких тампонажних

композицій з використанням домішки спученого перлітового піску двох різновидів. Із таблиць бачимо, що полегшений і легкий тампонажні розчини з добавкою спученого перлітового піску мають низькі показники водовідділення. Їх показники міцності відповідають вимогам ДСТУ щодо полегшених тампонажних цементів. Камінь з таких матеріалів характеризується високими показниками газопроникності.

При розробці описаних нових полегшених і легких тампонажних сумішей були використані практично всі методи зниження густини та їх комбінації. В результаті одержано широкий спектр полегшених (легких) тампонажних розчинів високої якості з густиною від 1100 кг/м³ до 1650 кг/м³, які можна приготувати безпосередньо в умовах бурових площадок, для цементування свердловин в різноманітних гірничо-геологічних умовах (температура 15–150⁰С, висока мінералізація пластових вод та ін.) геологорозвідувальних площ і нафтогазових родовищах України.

Література

- 1 Липовецкий А.Я. Цементные растворы в бурении скважин / А.Я. Липовецкий, В.С. Данышевский. – Л.: Гостоптехиздат, 1963. – 240 с.
- 2 Булатов А.И. Управление физико-механическими свойствами тампонажных систем / А.И. Булатов. – М.: Недра, 1976. – 248 с.
- 3 Луценко Н.А. Тампонажные растворы пониженной плотности / Н.А.Луценко, О.И.Образцов. – М.: Недра, 1972. – 211 с.
- 4 Кобояси М. Использование золы для повышения прочности глиноземистого цемента в длительные сроки твердения / Кобояси М., Мияке Н., Кокубу М. // Шестой Международный конгресс по химии цемента. – М.: Стройиздат, 1976. – Т. 3. – С. 119–122.
- 5 Ковач Р. Процессы гидратации и долговечность зольных цементов / Р. Ковач // Шестой Международный конгресс по химии цемента. – М.: Стройиздат, 1976. – Т. 3. – С. 99–103.
- 6 Люр Х.П. Влияние гранулометрического состава зол с низкими потерями при прокаливании на рост прочности бетона / Люр Х.П., Эфес Я. // Шестой Международный конгресс по химии цемента. – М.: Стройиздат, 1976. – Т. 3. – С. 103–109.
- 7 Шуберт П. Сульфатостойкость цементного раствора, содержащего золу / П. Шуберт // Шестой Международный конгресс по химии цемента. – М.: Стройиздат, 1976. – Т. 3. – С. 109–112.
- 8 О гидратации и твердении цементов с золой / З.Б. Этнин, Е.Т. Яшина, Г.Г. Лепешенкова и др. // Шестой Международный конгресс по химии цемента. – М.: Стройиздат, 1976. – Т. 3. – С. 95–99.
- 9 Крых Б.В. Повышение термостойкости тампонажных портландцементов добавками золы-уноса / Б.В. Крых // Труды Первой Украинской научно-технической конференции по термо- и солеустойчивым промывочным жидкостям и тампонажным растворам. – К.: Наукова думка, 1970, – С. 168.
- 10 Пат. 35476 А Україна, МКВ Е 21 В 33/138. Облегченный тампонажный материал / Михайленко С.Г., Орловський В.М., Лужаниця О.В. (Україна); № 99105679; Заявлено 18.10.99; Опубл. 15.03.01, Бюл. № 2.
11. Пат. 68839 А Україна, МКВ Е 21 В 33/138. Легкий тампонажный розчин / Лужаниця О.В., Михайленко С.Г., Мартинова Л.Б., Орловський В.М., Бандур Р.В., Аніськовцев О.В., Баранецький М.В. (Україна); № 20031110085; Заявлено 10.11.03; Опубл. 16.08.04, Бюл. № 8.
12. Пат. 28441 Україна, МПК Е 21 В 33/138. Полегшений тампонажний матеріал / Лужаниця О.В., Михайленко С.Г., Орловський В.М., Мартинова Л.Б. (Україна); № u200708569; Заявлено 26.07.07; Опубл. 10.12.07, Бюл. № 20.
13. Пат. 13252 Україна, МПК С 09 К 8/50. Тампонажна суміш / Лужаниця О.В., Михайленко С.Г., Орловський В.М., Мартинов Д.В. (Україна); № u200509726; Заявлено 17.11.05; Опубл. 15.03.06, Бюл. № 3.

Стаття постуила в редакційну колегію

16.06.10

Рекомендована до друку д. т. н.

М.Л.Зоценком