УДК 621:622.276

В.М. ОРЛОВСЬКИЙ, канд. техн. наук, доц.
Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка

ТАМПОНАЖНІ МАТЕРІАЛИ ЗНИЖЕНОЇ ГУСТИНИ

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

Ключові слова: полегшувальна домішка, легкий тампонажний матеріал, полегшений тампонажний матеріал.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. В останні роки велика увага приділяється дослідженню і використанню полегшених (густина ($\rho \geq 1400 \div \leq 1650$ кг/м^3) і легких тампонажних розчинів ($\rho \leq 1400$ кг/м^3).

Їх широке застосування стало можливим 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 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. Введення в тампонажний матеріал полегшувальних домішок значно знижує міцність цементного каменю, особливо в початкові терміни тужавіння.

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 слугують надійними тампонажними матеріалами для розмежування пластів у нафтових і газових свердловинах.

В окремих випадках мінімальна величина механічної міцності цементного каменю, необхідна для надійного розмежування пластів може бути навіть меншою і становити 0,55 МПа при згині та близько 0,91 МПа при стисненні. Орієнтовні розрахунки [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.

Впровадження полегшених цементно-глинистих сумішей, які знайшли широке застосування при цементуванні обсадних колон у вітчизняній і зарубіжній практиці також показало, що механічна міцність цементного каменю в затрубному просторі свердловини не є визначальним фактором.

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, в яких як полегшувальну домішку до портландцементів для помірних і підвищених температур використовують кислу золу 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 [4-8].

Роботами П.П. Будникова, П.І. Боженова, Ю.М. Бутта, Ю.С. Бурова, А.В. Волженського, І.А. Іванова, Л.Г. Шпинової та інших дослідників, які вивчали поведінку зол в умовах автокла-

© Орловський В.М., 2014

вної обробки, встановлено, що при підвищених температурах твердіння аморфний кремнезем і алюмосилікатна складова золи взаємодіють з продуктами гідратації портландцементу.

При цьому утворюються гідрогранати та 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 робіт з дослідження в'яжучих властивостей зол названою групою науковців Б.В. Крихом були проведені дослідження цементно-зольних тампонажних сумішей для кріплення свердловин у температурному інтервалі 50-200 °С та розроблені рекомендації по вибору їх оптимального складу [9].

Цементно-зольні тампонажні розчини мають понижену густину (1500-1700 кг/м^3), відносно низькі реологічні характеристики, а утворений на їх основі камінь є термодинамічно- і корозійностійким.

Постановка завдання. 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^3. 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.

Викладення матеріалу та результати. Колективом дослідників на базі лабораторного комплексу Полтавського відділення УкрДГРІ проводились роботи з розроблення тампонажних матеріалів пониженої густини.

У різний час було розроблено ряд нових полегшених і легких тампонажних матеріалів, які знайшли широке застосування на бурових підприємствах України, переважно в системі геології, при кріпленні глибоких нафтових і газових свердловин.

Однією з таких розробок є легкий тампонажний матеріал з густиною тампонажного розчину 1290-1350 кг/м^3, що містить полегшувальну домішку фільтроперліт.

Розробка знайшла широке застосовування ще в об'єднаннях "Полтавнафтогазгеологія" і "Чернігівнафтогазгеологія" при цементуванні глибоких геологорозвідувальних свердловин на нафту і газ.

Перевагами розробки є термостійкість і низька густина тампонажного розчину.

Недоліком такого тампонажного матеріалу є велике водовідділення, що спричиняється гідростатичним тиском стовпа тампонажного розчину у процесі цементування.

Перспективною розробкою стала полегшена тампонажна суміш (ПТС) з густиною розчину 1455-1570 кг/м^3. В ПТС як полегшувальну домішку застосовано тонкодисперсне цеолітове борошно [10].

Цеолітове борошно (ЦБ) утворюється при помелі закарпатської цеолітової руди і являє собою тонкодисперсний порошок коричнювато-сірого кольору з густиною 2290 кг/м^3 і з питомою поверхнею 5430 м^2/кг. Хімічний склад ЦБ у масових частках відсотка складає: SiO_2 - 69,43; Al_2O_3 - 13,04; Fe_2O_3 - 1,05; CaO - 2,10; MgO - 0,17; K_2O - 2,64; Na_2O - 2,06; P_2O_5 - 0,06.

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

У табл. 1 наведено результати досліджень технологічних властивостей полегшених тампонажних сумішей з домішкою ЦБ. ПТС мають широкий температурний діапазон застосування – 22-100 °С. Тампонажні розчини на їх основі характеризуються задовільними технологічними властивостями. Під час їх тужавіння 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 становить 2,5-5,0 Мд залежно від рецептури.

Таблиця 1

Технологічні властивості тампонажних розчинів на основі цеолітового борошна

Склад ПТС, мас. част. %		В/С	Густина, кг/м^3	Розтічність, м	Водовідділення, мл	Час тверділня, діб	Міцність при стисненні, МПа			Адгезія, МПа	
ПЦТ1-100	ЦБ						22°С 0,1 МПа	75°С 30 МПа	100°С 40 МПа	75°С 30 МПа	100°С 40 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

Ще однією розробкою в області полегшених і легких тампонажних матеріалів є тампонажна суміш з домішкою дрібнозернистого пустотілого заповнювача – зольних мікросфер, одержаних за певного режиму спалювання пиловидного вугільного палива в топках парових котлів на теплових електростанціях (ТЕС). Густина цих розчинів лежить в діапазоні 1100 – 1420 кг/м^3, в залежності від співвідношення компонентів у суміші. Їх перевагами є термостійкість у поєднанні з наднизькою 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.

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

КОГ – гідрофобізований тонкодисперсний порошок білого (світло-жовтого) кольору з насипною масою 400 кг/м^3, гідрофобізованість не менше 60%. Виготовляється на основі меленого 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 утворення відносно однорідної повітряно-водо-цементної дисперсії.

Оптимальна домішка КОГу складає 10-15% за масою (табл. 2), водосумішеве відношення дорівнює 1,0.

Таблиця 2

Технологічні властивості тампонажних розчинів з домішкою адсорбенту КОГ

Склад суміші, мас. част. %			Пластифікатор «Дофен», % (від маси сухого матеріалу)	В/С	Густина, кг/м^3	Розтічність, м	Водовідділення, мл	Час тверділня, діб	Міцність при стисненні, МПа		
ПЦТ1-50	ПЦТ1-100	КОГ							22°С 0,1 МПа	40°С 10 МПа	75°С 30 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	1,0	0,55	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	1,0	0,55	1405	0,200	0	2	-	-	6,5

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

Недоліком цих розчинів є те, що під дією гідростатичного тиску величиною 10 МПа густина розчину з домішкою 10% КОГу підвищується на 15%, а при вмісті 15% КОГу - на 20 %. Для

зведення до мінімуму цього негативного ефекту розроблені рецептури з пониженим вмістом 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.

Іншою розробкою в області полегшених тампонажних матеріалів є розчини на основі портландцементу або цементно-зольної суміші з домішкою 0,04-0,11 масових часток відсоток реагенту на основі ксантанової смоли.

Густина різних рецептур таких розчинів знаходиться в межах 1460-1530 кг/м^3 [12]. Їх перевагами є висока стабільність тампонажного розчину, термостійкість і підвищена міцність каменю.

Ще однією перспективною розробкою в області полегшених і легких тампонажних матеріалів є композиції на основі портландцементу, що містить як полегшувальну домішку 3-12 масових часток % спученого перлітового піску (СПП) [13].

Перевагами цих тампонажних розчинів є низька густина 1160-1510 кг/м^3 і низькі показники водовідділення. Їх недоліком є відносно невисокий термічний діапазон застосування 20-60 °С.

Спучений перлітовий пісок (СПП) отримують шляхом термічної обробки перліту за температури 800-1000 °С.

У процесі нагрівання частинки перліту шкаралупчастої структури спучуються 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 СПП, рядовий - СПП(Р) і мілкий – СПП(М), а в межах кожного виду існує ще поділ за насипними масами 1 м^3. СПП(Р) виготовляється трьох марок: 75, 100, 150, СПП(М) - двох: 75 і 100. Марка відповідає масі (в кг) 1 м^3 матеріалу.

Приготування сухої суміші цементу з домішкою СПП на бурових площадках здійснюють за допомогою цементно-змішувальних машин.

Закачування тампонажного розчину у свердловину проводиться з використанням механічної осереднювальної ємності.

У табл. 3 і 4 наведено технологічні властивості полегшених і легких тампонажних композицій з використанням домішки спученого перлітового піску двох різновидів.

Таблиця 3

Технологічні властивості полегшених і легких тампонажних розчинів з домішками СПП

Масова частка компонентів у суміші, мас. часток %				В/С	Густина, кг/м^3	Розтічність, м	Водовідділення, 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

Таблиця 4

Фізико-механічі властивості тампонажного каменю з домішками СПП

Склад суміші, мас. часток %			Густина, кг/м^3	Час тужавіння, діб	Міцність при стисненні, МПа			Газопроникність, мД		
ПЦТ1-50 (ПЦТ1-100)	СПП(Р)	СПП(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

Продовження табл. 4

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

З таблиць видно, що полегшений і легкий тампонажні розчини з домішкою спученого перлітового піску мають низькі показники водовідділення.

Показники їх міцності відповідають вимогам ДСТУ щодо полегшених тампонажних цементів. Камінь з таких матеріалів характеризується низькою газопроникністю.

Висновки та напрямок подальших досліджень. При розробці нових тампонажних матеріалів пониженої густини були використані усі відомі методи зниження густини і їх комбінації.

У результаті проведеної науково-дослідної роботи було одержано широкий спектр полегшених і легких тампонажних матеріалів з високими техніко-економічними показниками густиною від 1100 кг/м^3 до 1650 кг/м^3.

Такі тампонажні матеріали і розчини з них можна приготувати безпосередньо в умовах бурових майданчиків при цементуванні свердловин в різноманітних гірничо-геологічних умовах (температура 15-150 °С, висока мінералізація пластових вод та ін.) геологорозвідувальних площ і нафтогазових родовищах України.

Список літератури

1. **Липовецький А.Я.** Цементные растворы в бурении скважин / **А.Я. Липовецкий, В.С. Данюшевский**. – 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 / **М. Кобояси, Н. Мияке, М. Кокобу** // Шестой Международный конгресс по химии цемента: (сб научн. трудов). – М.: Стройиздат, 1976. – Т. 3. – С. 119 – 122.

5. **Ковач Р.** Процесы гидратации и долговечность зольних цементов / **Р. Ковач** // Шестой Международный конгресс по химии цемента: (сб научн. трудов). – 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: (сб научн. трудов). – М.: Стройиздат, 1976. – Т. 3. – С. 103 – 109.

7. **Шуберт П.** Сульфатостойкость цементного раствора, содержащего золу / **П. Шуберт** // Шестой Международный конгресс по химии цемента: (сб научн. трудов). – М.: Стройиздат, 1976. – Т. 3. – С.109 – 112.

8. О гидратации твердения цементов с золой / **З.Б. Этнин, Е.Т. Яшина, Г.Г. Лепешенкова** и др. // Шестой Международный конгресс по химии цемента: (сб научн. трудов). – М.: Стройиздат, 1976. – Т. 3. – С.95 – 99.

9. **Крых Б.В.** Повышение термостойкости тампонажных портландцементов добавками золы-уноса / **Б.В. Крых** // Термо- и солеустойчивые промывочные жидкости и тампонажные растворы: тезисы докладов первой украинской научно-техн. конференции:. – К.: Наукова думка, 1970. – Часть 1. – 168 с.

10. Пат. 35476 А **Україна, МКВ Е 21 В 33/138. Облегшений тампонажний матеріал / 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 тампонажний 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); № u 2007 08569; Заявлено 26.07.07; Опубл. 10.12.07, Бюл. № 20.

13. Пат. 13254 Україна, МПК С 09 К 8/50.Тампонажна суміш / **Лужаниця О.В., Михайленко С.Г., Орловський В.М., Мартинов Д.В** (Україна); – № u 2005 09726; Заявлено 17.10.05; Опубл. 15.03.06, Бюл. № 3.

Рукопис подано до редакції 28.03.14