

# Наука — виробництву

УДК 622.245.42

## РОЗРОБЛЕННЯ ТЕРМОСТІЙКИХ ПОЛЕГШЕНИХ І ЛЕГКИХ ТАМПОНАЖНИХ МАТЕРІАЛІВ

В.М. Орловський<sup>1</sup>, А.М. Похилко<sup>1</sup>, В.І. Дмитренко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка;  
36011, м. Полтава, Першотравневий проспект, 24; тел. (05322) 73327;  
e-mail: rector@pntu.edu.ua

<sup>2</sup>Полтавський університет економіки і торгівлі; 36014, м. Полтава, вул. Ковалю, 3;  
тел. (05322) 21687; e-mail: puskuchem@mail.ru

Сьогодні на більшості нафтогазових родовищах України існують умови, які потребують застосування тампонажних матеріалів пониженої густини з різними технологічними характеристиками. В статті проведено аналіз механізмів зниження густини тампонажних розчинів. Розглянуто питання дослідження й розроблення термостійких цементних матеріалів пониженої густини для застосування в складних гірничо-геологічних умовах глибоких нафтових і газових свердловин. Розроблено й запропоновано рецептури полегшених і легких тампонажних композицій з високою термостійкістю. Наведено технологічні характеристики нових цементних матеріалів. Розглянуті розробки дали змогу забезпечити буріння на нафту і газ термостійкими тампонажними матеріалами й композиціями пониженої густини в складних гірничо-геологічних умовах глибоких свердловин на геологорозвідувальних площах України.

Ключові слова: тампонажна суміш, зниження густини тампонажного розчину, водосумішеве відношення.

Сегодня на большинстве нефтегазовых месторождениях Украины существуют условия, требующие применения тампонажных материалов сниженной плотности с различными технологическими характеристиками. В статье проведен анализ механизмов снижения плотности тампонажных растворов. Рассмотрены вопросы исследования и разработки термостойких цементных материалов сниженной плотности для использования в сложных горно-геологических условиях глубоких нефтяных и газовых скважин. Разработаны и предложены рецептуры облегченных и легких тампонажных композиций с высокой термостойкостью. Приведены технические характеристики новых цементных материалов. Рассмотрены разработки позволили обеспечить бурения на нефть и газ термостойкими тампонажными материалами и композициями сниженной плотности в сложных горно-геологических условиях глубоких скважин на геологоразведочных площадях Украины.

Ключевые слова: тампонажная смесь, снижение плотности тампонажного раствора, водосмесевое отношение.

Nowadays most oil and gas fields in Ukraine are in conditions that require the use of lightweight cement materials with different technological characteristics. The analysis of the mechanisms that reduce the cement slurry density is conducted. The article deals with the research and development of heat-resistant cement materials with reduced density that are to be used in complex mining and geological conditions of deep oil and gas wells. The composition of lightweight cement materials with high level of heat resistance are developed and recommended. The technological characteristics of new cement materials are described. New developments provide oil and gas drilling industry with light heat resistant cement materials in complex geological conditions of deep wells in exploration areas of Ukraine.

Key words: cement slurry, cement slurry density reduction, water ratio cement.

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими та практичними завданнями.** У процесі цементування свердловин в умовах низьких і аномально низьких пластових тисків, схильних

до поглинання промивальних рідин і тампонажних розчинів, та геостатичних температур 15 – 250°C, а також при необхідності підняття тампонажного розчину на велику висоту в один

прийом потрібні тампонажні матеріали з пониженою густиною цементного розчину.

В даний час промисловістю України в заводських умовах виготовляється лише один вид полегшеного тампонажного цементу ПЦТШ-Пол5-100 з нижньою границею густини  $1450 \text{ кг/м}^3$ , який призначений для температур, вищих  $50^\circ\text{C}$  [1]. Проте сьогодні на більшості нафтогазових родовищах України існують умови, які потребують застосування полегшених і легких тампонажних матеріалів з різними технологічними характеристиками. Тому проводяться дослідження, спрямовані на розширення асортименту тампонажних матеріалів пониженої густини для застосування в різноманітних гірничо-геологічних умовах глибоких нафтових і газових свердловин.

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Тампонажні цементні розчини належать до модифікованих матеріалів. З аналізу друкованих джерел відомо декілька способів зниження густини тампонажних розчинів [2, 3]:

1) зниження густини твердої фази додаванням легкого наповнювача або використанню в'язучої речовини з меншою густиною;

2) підвищення водосумішевого відношення при збільшенні водоутримуючої здатності тампонажного розчину;

3) введенням в тампонажний розчин газової фази при її диспергуванні та стабілізації утвореної піни:

а) аеруванням тампонажних розчинів;

б) введенням мікрочасток – капсул, заповнених повітрям;

в) введенням спучених матеріалів з великою кавернозністю та низькою насипною масою;

4) заміною частини води вуглеводневою рідиною з меншою густиною;

5) комбіновані способи.

Вибір способу зниження густини визначається умовами застосування тампонажного матеріалу й технологічними можливостями підприємства.

Серед найбільш поширених прийомів зниження густини тампонажних матеріалів і розчинів переважають перший та другий способи й такі, що поєднують в собі якості, притаманні одночасно композиціям першого та другого способів. Комбінований засіб з одночасним зниженням густини твердої фази і збільшенням водосумішевого відношення розчину застосовувався в тампонажних матеріалах, які вироблялися в Україні у промислових масштабах.

У 70-х роках минулого сторіччя в СРСР були розроблені полегшені тампонажні цементні 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  $40\div 150^\circ\text{C}$ . 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 –  $80\div 160^\circ\text{C}$ , для ОШЦ–200 –  $160\div 220^\circ\text{C}$  [4, 5]. Цементи ОЦГ і ОШЦ виготовлялись в Україні Констянтинівським ВАТ “Завод обважнювачів”.

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

**Постановка задачі.** Задача досліджень полягає в розробленні термостійких тампонажних матеріалів пониженої густини для застосування в складних гірничо-геологічних умовах глибоких нафтових і газових свердловин.

**Виклад основного матеріалу.** Спільно з Полтавським відділенням УкрДГРІ було розроблено ряд тампонажних матеріалів і рецептур з пониженою густиною цементного розчину. Серед них:

1. Полегшені тампонажні суміші на основі суміші портландцементу ПЦТІ-100 та порошку П7, який утворюється при обпалюванні кускового шамоту із співвідношенням компонентів ПЦТІ-100 : порошок П7 – (40–70%) : (30–60%).

За рахунок підвищеного водосумішевого відношення (0,70–0,80) можливе доведення густини таких сумішей до  $1560\div 1640 \text{ кг/м}^3$ . Перевагами цих сумішей є висока термостійкість (до  $120^\circ\text{C}$ ) й високі показники міцності як для полегшених матеріалів.

2. Полегшені безклінкерні доломіто–зольні тампонажні суміші (ДЗС) із співвідношенням компонентів доломітове борошно напівобпалене: кисла зола-винос ТЕС – (50–60) : (40–50) [7, 9].

Густина таких тампонажних розчинів –  $1540\div 1620 \text{ кг/м}^3$  при В/С –  $0,58\div 0,62$ . Термічний інтервал застосування  $60\div 100^\circ\text{C}$ . Перевагами ДЗС є розширення тампонажного матеріалу при твердінні. Недоліком таких матеріалів є низька міцність цементного каменю.

3. Полегшені цементно–зольні тампонажні суміші (ЦЗС) [7].

При домішці в ЦЗС від 40 до 60 % (від маси сухого матеріалу) золи Курахівської ТЕС (ЗК) можна одержувати рецептури з густиною тампонажного розчину  $1550\div 1650 \text{ кг/м}^3$ . ЦЗС відрізняються високою термо- і корозійною стійкістю. Рекомендований температурний діапазон застосування  $50\div 160^\circ\text{C}$ . При зниженні густини ЦЗС до  $1450\div 1470 \text{ кг/м}^3$  у воду замішування вводять стабілізатор. Подальше зниження густини призводить до значного погіршення фізико-механічних властивостей цементного каменю. Перевагою таких сумішей є висока корозійна стійкість в умовах полімінеральної агресії. Технологічні властивості полег-

Таблиця 1 – Технологічні властивості стабілізованих полегшених ЦЗС

Склад тампонажної суміші, мас. част., %		Стабілізатор «Dyolisc» від маси сухого мат., %	В/С	Густина, кг/м <sup>3</sup>	Розтічність, м	Водовідділення, см <sup>3</sup>	Міцність каменю при стисканні через 2 доби, МПа			
ПЦТІ-100	ЗК						t = 50 °C, P = 20,0 МПа	t = 75 °C, P = 30,0 МПа	t = 100 °C, P = 40,0 МПа	t = 140 °C, P = 70,0 МПа
60	40	0,12	0,97	1460	0,18	5,5	0,8	1,0	1,8	
60	40	0,11	0,97	1460	0,19	6,0	0,9	1,1	2,0	
60	40	0,09	0,90	1490	0,19	6,0	1,0	1,3	2,3	
50	50	0,05	0,80	1495	0,20	3,0	1,4	1,5	3,5	3,7
50	50	0,04	0,70	1530	0,21	3,0	1,7	2,5	5,1	6,5
50	50	0,03	0,70	1530	0,22	8,0	1,8	2,5	5,2	6,7

Таблиця 2 – Технологічні властивості легких трикомпонентних композицій з добавками фільтроперліту

Склад тампонажної суміші, мас. часток %			В/С	Густина, кг/м <sup>3</sup>	Розтічність, м	Водовідділення, мл	Міцність каменю при стисканні, МПа								
ПЦТІ-50 (ПЦТІ-100)	ЗК	Фільтроперліт					2 доби			7 діб			28 діб		
							22°C, 0,1 МПа	75°C, 40 МПа	100°C, 40 МПа	22°C, 0,1 МПа	75°C, 40 МПа	100°C, 40 МПа	22°C, 0,1 МПа	75°C, 40 МПа	100°C, 40 МПа
70	20	10	1,25	1280	0,22	1,6	0,2	1,7	2,1	0,3	1,8	2,5	1,5	–	–
60	30	10	1,25	1265	0,22	2,0	0,2	1,2	1,5	0,2	1,3	2,0	1,1	–	–

шених цементно-зольних тампонажних сумішей подано в таблиці 1.

4. Полегшені і легкі тампонажні суміші з добавками як полегшувальної домішки 5–13% фільтроперліту [7, 10].

Густина таких сумішей – 1350–1550 кг/м<sup>3</sup>. Недоліком сумішей з домішкою фільтроперліту є невисокі фізико-механічні показники цементного каменю (при густині, нижчій 1470 кг/м<sup>3</sup> його міцність не відповідає існуючим вимогам) та обмежений температурний інтервал застосування (50–100 °C).

Для зниження густини розроблених легких тампонажних сумішей запропоновано використати як основу в'язучого цементно-зольні суміші (ЦЗС) із застосуванням золи-виносу Курахівської ТЕС (ЗК) з домішкою фільтроперліту. Співвідношення інгредієнтів у трикомпонентних композиціях: портландцемент (ПЦТІ-50, ПЦТІ-100) : зола Курахівської ТЕС : фільтроперліт – (60–70) : (20–30) : (10). Густина тампонажних розчинів з використанням трикомпонентних сумішей – 1265–1280 кг/м<sup>3</sup>, В/С – 1,25. Легкі трикомпонентні композиції рекомендують застосовувати при температурах 20–100 °C. Технологічні властивості легких трикомпонентних композицій з добавками фільтроперліту подано в таблиці 2.

тних композицій з добавками фільтроперліту подано в таблиці 2.

5. Полегшені безклінкерні тампонажні суміші на основі зол-виносу ТЕС (ЗС) із співвідношенням компонентів зола висококальцієва : зола кисла – (30–0) : (30–70) [11].

Густина тампонажних розчинів на основі таких сумішей – 1500–1620 кг/м<sup>3</sup> при В/С – 0,54–0,56. Термічний інтервал застосування 20–160 °C. Переваги – висока термостійкість і стабільність тампонажного розчину, розширення тампонажного матеріалу при твердінні.

6. Полегшені тампонажні суміші (ПТС) із застосуванням як полегшувальної домішки тонкодисперсного цеолітового борошна (ЦБ) із співвідношенням компонентів ПЦТІ-100 : ЦБ – (55–70) : (30–45) [10, 12].

Густина тампонажного розчину – 1450–1620 кг/м<sup>3</sup> при В/С – 0,70–1,00. Термічний інтервал застосування – 20–100 °C. Перевагами таких сумішей є широкий термічний діапазон застосування, неусадковий цементний камінь з високими показниками адгезії, який за своїми фізико-механічними властивостями відповідає вимогам діючих стандартів. Із зростанням температури газопроникність каменю знижується.

Таблиця 3 – Технологічні властивості полегшених тампонажних сумішей (ПТС) з добавками ЦБ

Склад тампонажної суміші, мас. част., %		В/С	Густина, кг/м <sup>3</sup>	Розтігність, м	Водовідділення, см <sup>3</sup>	Час прокачування розчину (при t = 75 °С, P = 30,0 МПа), год – хв	Міцність каменю при вигині/стисканні через 2 доби, МПа			Адгезія з металом через 2 доби, МПа	
ПЦТІ-100	ЦБ						t = 22 °С P = 0,1 МПа	t = 75 °С P = 30,0 МПа	t = 100 °С P = 40,0 МПа	t = 75 °С P = 30,0 МПа	t = 100 °С P = 40,0 МПа
70	30	0,70	1620	0,20	7,0	1 – 50	1,6/3,5	3,8/7,4	–	4,1	–
65	35	0,75	1580	0,20	8,0	2 – 15	1,2/2,5	2,5/5,2	2,1/5,0	4,0	3,8
60	40	0,80	1550	0,20	9,5	2 – 30	0,9/2,0	2,1/4,5	2,4/4,5	3,1	3,3
55	45	0,80	1515	0,20	7,0	2 – 50	0,7/1,6	1,7/3,6	2,0/3,8	3,0	2,9
55	45	1,0	1450	0,24	10,0	3 – 30	0,3/1,0	1,0/2,6	1,2/2,6	1,5	1,7

Таблиця 4 – Технологічні властивості полегшених і легких тампонажних сумішей на основі портландцементу й зольних мікросфер

Склад тампонажної суміші, мас. часток %		В/С	Густина, кг/м <sup>3</sup>	Розтігність, м	Водовідділення, мл	Міцність каменю при вигині/стисканні, МПа					
ПЦТІ-50 (ПЦТІ-100)	Зольні мікросфери					2 доби			7 діб		
						22°С, 0,1 МПа	75°С, 30 МПа	100°С, 40 МПа	22°С, 0,1 МПа	75°С, 30 МПа	100°С, 40 МПа
50	50	0,75	1100	0,20	0	0,3/0,5	1,5/2,3	1,7/2,5	0,5/0,8	–	–
60	40	0,65	1165	0,195	0	0,4/0,7	1,8/2,6	2,0/2,8	0,7/1,1	–	–
70	30	0,60	1260	0,20	0	0,7/1,1	2,1/2,8	2,3/3,2	1,2/1,7	2,3/3,0	2,5/3,5
80	20	0,55	1420	0,20	0	1,1/1,5	2,4/3,2	2,7/3,5	1,4/1,9	2,6/3,4	2,9/3,7

Технологічні властивості тампонажних розчинів на основі цеолітового борошна подано в таблиці 3.

7. Полегшені і легкі тампонажні суміші з добавками як полегшувальної домішки 20–50 масових % дрібнозернистого пустотилого заповнювача – зольних мікросфер [10].

Густина тампонажного розчину – 1100–1420 кг/м<sup>3</sup> залежно від співвідношення компонентів у суміші. Термічний інтервал застосування сумішей 20–160 °С. Для підвищення термостійкості вище 100°С як базовий в'язучий матеріал застосовують цементно-зольні суміші. Переваги – висока стабільність і термостійкість, високі як для полегшених матеріалів показники міцності цементного каменю. Недоліки – при великій висоті стовпа тампонажного розчину зольні мікросфери руйнуються під дією гідростатичного тиску, що призводить до седиментаційної нестабільності розчину і значного водовідділення. До недоліків таких сумішей

відноситься також не достатня технологічність полегшувальної домішки. Зольні мікросфери відділяються від золи ТЕС методом флотації і знаходяться у вологому стані. Це створює певні незручності при їх застосуванні, оскільки відсоток вологи в мікросферах не стабільний і в процесі зберігання змінюється. Технологічні властивості полегшених і легких тампонажних сумішей з добавками зольних мікросфер подано в таблиці 4.

8. Полегшені і легкі тампонажні розчини (ПЛТР), з добавками 10–15 масових часток % полегшувальної домішки гідрофобізованого адсорбенту КОГ, що викликає газонасичення тампонажного розчину [10, 13].

КОГ – являє собою гідрофобізований тонкодисперсний порошок білого (світло-жовтого) кольору, насипною масою 400 кг/м<sup>3</sup>, гідрофобізованість не менше 60 %. Виготовляється на основі молотого каоліну, обробленого спеціальними поверхнево-активними речовинами.

Таблиця 5 – Технологічні властивості полегшених тампонажних матеріалів з домішкою реагенту на основі ксантанової смоли

Склад тампонажного матеріалу, мас. часток %		В/С	Густина, кг/м <sup>3</sup>	Розтічність, м	Водовідділення, мл	Міцність каменю при стисканні, через 2 доби, МПа			
Мінеральне в'язуче	Реагент на основі ксантанової смоли					50 <sup>0</sup> С, 20 МПа	75 <sup>0</sup> С, 30 МПа	100 <sup>0</sup> С, 40 МПа	140 <sup>0</sup> С, 60 МПа
ЦЗС – 60:40	0,11	0,97	1460	0,19	6,0	0,8	1,0	1,8	–
ЦЗС – 60:40	0,09	0,90	1490	0,19	6,0	0,9	1,1	2,0	–
ЦЗС – 50:50	0,05	0,80	1495	0,20	3,0	1,2	1,5	3,5	3,7
ЦЗС – 50:50	0,04	0,70	1530	0,21	3,0	1,5	2,5	5,1	6,5

Густина такого тампонажного розчину – 1200–1650 кг/м<sup>3</sup> при В/С – 0,55–1,0. Термічний інтервал застосування – 20–150 °С. Переваги – низька густина тампонажного розчину, низька (як для полегшених сумішей) газопроникність. Недоліки – інтенсивне піноутворення у процесі приготування тампонажного розчину; під дією гідростатичного тиску 10 МПа густина розчину підвищується на 15–20%. Технологічні властивості ПЛТР з домішками адсорбенту КОГ наведено в таблиці 3.

9. Полегшені тампонажні розчини на основі портландцементу або цементно-зольної суміші з домішкою 0,04–0,11 масових часток % реагенту на основі ксантанової смоли [10, 14].

Густина тампонажного розчину – 1460–1530 кг/м<sup>3</sup> при В/Ц – 0,70–0,97. Термічний інтервал застосування – 50–140 °С. Переваги – висока стабільність тампонажного розчину, термостійкість і підвищена міцність каменю. Технологічні властивості полегшених тампонажних матеріалів з домішкою реагенту на основі ксантанової смоли подано в таблиці 5.

### Висновки

У ході досліджень термостійких тампонажних матеріалів зі зниженою густиною цементного тіста проведено підбір оптимальних рецептур розроблених композицій, вивчено мінералогічний склад новоутворень цементу, теоретично і практично доведено їх термостійкість і термостабільність. В цьому полягає наукова цінність запропонованих розробок.

Розглянуті розробки дають змогу розширити діапазон густин і температур при застосуванні тампонажних композицій з пониженою густиною, що має практичну цінність. Мінімальна густина тампонажних розчинів на основі розроблених композицій складає 1110–1280 кг/м<sup>3</sup> при забезпеченні задовільної якості інших параметрів тампонажного розчину і каменю, що важливо при цементуванні високопроникних пластів та розрізів свердловин в зонах АНПТ.

### Література

- 1 Горський В. Ф. Тампонажні матеріали і розчини / В.Ф. Горський. – Чернівці, 2006 – 524 с.
- 2 Данюшевский В.С. Справочное руководство по тампонажным материалам / В.С. Данюшевский, Р.М. Алиев, И.Ф. Толстых. – М.: Недра, 1987. – 373 с.
- 3 Булатов А. И. Тампонажные материалы / А. И. Булатов, В. С. Данюшевский. – М.: Недра, 1987. – С. 164 – 167.
- 4 Новохатский Д. Ф. Специальные тампонажные цементы / Д.Ф. Новохатский // РНТС «Бурение». – 1972. – № 6 – С. 26 – 28.
- 5 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.
- 6 ТУ У729755.01-94. Портландцемент тампонажный полегший для нормальных і помірних температур.
- 7 Оптимизация процессов цементирования скважин / С.Г. Михайленко, А.С. Серяков, В.Н. Орловский [и др.] // Техника и технология геологоразведочных работ, организация производства. – М.: ВИЭМС, 1988. – 26 с.
- 8 Тампонажные растворы для глубоких скважин / З.А. Балицкая, И.Г. Верещака, В.В. Сачков [и др.]. – Москва: Недра, 1976. – 120 с.
- 9 Магнезиальные тампонажные вяжущие для глубоких скважин / А.З. Керцман, Н.Н. Круглицкий, А.С. Серяков [и др.] // Техника и технология геологоразведочных работ, организация производства. – М.: ВИЭМС, 1984. – 46 с.
- 10 Орловський В.М. Нові полегшені і легкі тампонажні матеріали / В.М. Орловський, С.Г. Михайленко, О.В. Лужаниця // Науковий вісник Івано-Франк. нац. тех. унів. нафти і газу. – 2010. – № 3. – С. 10 – 14.
- 11 Орловський В.М. Тампонажні матеріали, що розширюються при твердінні: монографія / В.М. Орловський. – Полтава, 2015. – 129 с.

12 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.

13 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.

14 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.

*Стаття надійшла до редакційної колегії  
10.08.16*

*Рекомендована до друку  
професором **Тарком Я.Б.**  
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)  
професором **Білецьким В.С.**  
(Полтавський національний технічний  
університет ім. Ю. Кондратюка, м. Полтава)*