

УДК 621:622.276

*Орловський В.М., к.т.н., доцент,
Похилко А.М., асистент
Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка*

РОЗРОБКА ТАМПОНАЖНИХ МАТЕРІАЛІВ ЗНИЖЕНОЇ ГУСТИНИ

Розглянуто питання розроблення полегшених і легких тампонажних матеріалів, описані механізми задіяні при їх розробленні. Розроблено рецептури нових полегшених і легких тампонажних сумішей для застосування в різноманітних гірничо-геологічних умовах глибоких нафтових і газових свердловин.

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

Проблема та її зв'язок з науковими і 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.

Сьогодні промисловістю України в заводських умовах виготовляється лише один вид полегшеного тампонажного цементу ПЦТШ-Пол5-100 з нижньою границею густини 1450 кг/м³, який призначений для температур вищих 50°C [1]. Проте на більшості нафтогазових родовищах України існують умови, які потребують застосування полегшених і легких тампонажних розчинів з різними технологічними характеристиками. Тому проводяться дослідження направлені на розширення асортименту тампонажних матеріалів пониженої густини для застосування в різноманітних гірничо-геологічних умовах глибоких нафтогазових свердловин України.

Аналіз досліджень і публікацій. Тампонажні цементи з пониженою густиною цементного розчину належать до модифікованих матеріалів. З аналізу наукових джерел відомо, що існує декілька способів зниження густини тампонажних розчинів [2, 3]:

- 1) зниженням густини твердої фази шляхом додавання легкого наповнювача або використанням в'язучої речовини з меншою густиною;
- 2) підвищенням водо-сумішевого відношення з одночасним збільшенням водоутримувальної здатності розчину;
- 3) введенням в тампонажний розчин газової фази з одночасним її диспергуванням та стабілізацією утвореної піни:

- а) шляхом аерації;
- б) введенням штучних або природних мікрочасток (капсул);
- в) введенням спеціально оброблених, спучуваних матеріалів з великим ступенем кавернозності та низькою насипною масою;
- 4) заміною частини води вуглеводневою рідиною меншої густини.
- 5) комбіновані або мішані способи.

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. Спосіб одночасного зниження густини і збільшення водосумішевого відношення був застосований при створенні тампонажних матеріалів, які вироблялися в Україні в промислових масштабах.

В 70-х роках минулого сторіччя в СРСР 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 – $160 \div 220 \text{ }^\circ\text{C}$ [4, 5]. 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 % 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 $50 \div 100 \text{ }^\circ\text{C}$.

Постановка задачі. Задача досліджень полягає в розширенні асортименту тампонажних матеріалів зниженої густини з широким температурним діапазоном для застосування в різноманітних гірничо-геологічних умовах глибоких нафтових і газових свердловин.

Виклад матеріалу і результати. У процесі виконання задач, поставлених виробничими геологічними об'єднаннями України перед науковцями галузі, колективом дослідників Полтавського відділення УкрДГРІ (Полтава–Львів) протягом більше ніж 30 років було розроблено ряд тампонажних матеріалів і рецептур з пониженою густиною цементного розчину. Серед них:

1. Полегшені цементно–глинисті тампонажні суміші (ЦГС) з добавками 3 – 30% бентонітового порошку як полегшувальної домішки [7, 8].

За рахунок високого водосумішевого відношення (до 1,8) можливе доведення густини цементно–глинистих сумішей до $1300 \div 1350 \text{ кг/м}^3$, але через невелику міцність, низьку термо– (до 75°C) і корозійну стійкість та складність приготування (як правило, поргланцемент замішують на раніше приготовленому глинистому розчині) в останні роки використання ЦГС практично припинилось.

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 – $1540 - 1620 \text{ кг/м}^3$ при В/С – $0,58 - 0,62$. Термічний інтервал застосування $60 - 100^\circ\text{C}$. Перевагами ДЗС є розширення тампонажного матеріалу при твердінні. Недоліком 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 $50 - 160^\circ\text{C}$. При зниженні густини ЦЗС до $1450 \text{ кг/м}^3 - 1470 \text{ кг/м}^3$ 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 стабілізованих полегшених ЦЗС проведено в таблиці 1.

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

Густина таких сумішей знаходилась в межах $1350 - 1550 \text{ кг/м}^3$. Недоліком сумішей є невисокі фізико-механічні показники цементного каменю (при густині нижче 1470 кг/м^3 його міцність не відповідає існуючим вимогам) та обмежений температурний інтервал використання ($50 - 100^\circ\text{C}$).

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

Густина тампонажних розчинів на основі таких сумішей $1500 - 1620 \text{ кг/м}^3$ при В/С – $0,54 - 0,56$. Термічний інтервал застосування $20 - 160^\circ\text{C}$. 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].

Таблиця 1 – Технологічні властивості стабілізованих полегшених ЦЗС

Склад суміші, мас. част., %		Стабілізатор «Dyolix» від маси сухого мат., %	В/С	Густина, кг/м ³	Розтічність, м	Водовідділення, см ³	Міцність при стисканні через 2 доби, МПа			
ПЦП-100	ЗК						$t = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P = 20,0\text{ МПа}$	$t = 75\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P = 30,0\text{ МПа}$	$t = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P = 40,0\text{ МПа}$	$t = 140\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P = 70,0\text{ МПа}$
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

Густина тампонажного розчину 1450 – 1620 кг/м³ при В/С – 0,70 – 1,00. Термічний інтервал застосування – 20 – 100^oС. Перевагами таких сумішей є широкий термічний діапазон застосування, неусадковий цементний камінь з високими показниками адгезії, який за своїми фізико-механічними властивостями відповідає вимогам ДСТУ. Із зростанням температури газопроникність каменю знижується. Технологічні властивості тампонажних розчинів на основі цеолітового борошна приведено в таблиці 2.

7. Полегшені і легкі тампонажні суміші з домішкою дрібнозернистого пустотілого заповнювача – зольних мікросфер (ценосфери) [10].

Густина тампонажного розчину 1100 – 1420 кг/м³, в залежності від співвідношення компонентів у суміші. Термічний інтервал застосування сумішей 20 – 160 ^oС. Переваги – висока термостійкість у поєднанні з наднизькою густиною розчину. Недоліки – при великій висоті стовпа тампонажного розчину зольні мікросфери руйнуються під дією гідростатичного тиску, що призводить до седиментаційної нестабільності розчину і значного водовідділення.

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].

Таблиця 2 – Технологічні властивості тампонажних розчинів на основі цеолітового борошна

Склад суміші, мас. част., %		В/С	Густина, кг/м ³	Розтічність, м	Водовідділення, см ³	Час прокачування розчину (при $t = 75^{\circ}\text{C}$, $P = 30,0$ МПа), год – хв	Міцність каменю при вигині/стисканні через 2 доби, МПа			Адгезія з металом через 2 доби, МПа	
ЩПТ-100	ЦБ						$t = 22^{\circ}\text{C}$ $P = 0,1$ МПа	$t = 75^{\circ}\text{C}$ $P = 30,0$ МПа	$t = 100^{\circ}\text{C}$ $P = 40,0$ МПа	$t = 75^{\circ}\text{C}$ $P = 30,0$ МПа	$t = 100^{\circ}\text{C}$ $P = 40,0$ 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

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

Густина такого тампонажного розчину 1200 – 1650 кг/м³ 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/м³ при В/Ц – 0,70 – 0,97. Термічний інтервал застосування 50 – 140 °С. Переваги – висока стабільність тампонажного розчину, термостійкість і підвищена міцність каменю.

Таблиця 3 – Технологічні властивості ПЛТР з домішками адсорбенту КОГ

Склад суміші, мас. част.,%			В/С	Пластифікатор „Дофент”, від маси сухого матеріалу, %	Густина, кг/м ³	Розтічність, м	Водовідлення, см ³	Міцність на стискання через 2 добы, МПа		
ПЦТІ-50	ПЦТІ-100	КОГ						t=20°C P = 0,1 МПа	t=40°C P = 10,0 МПа	t=75°C P = 30,0 МПа
100	–	–	0,5	–	1800	0,210	6	6,5	11,8	–
–	100	–	0,5	–	1820	0,220	4	–	–	16,1
90	–	10	1,0	–	1340	0,215	0	1,2	1,9	–
85	–	15	1,0	–	1205	0,205	0	0,9	1,4	–
85	–	15	0,55	1,0	1400	0,200	0	2,8	4,5	–
–	90	10	1,0	–	1350	0,215	0	–	–	2,9
–	85	15	1,0	–	1210	0,200	0	–	–	2,2
–	85	15	0,55	1,0	1405	0,200	0	–	–	6,5

10. Полегшені і легкі тампонажні композиції на основі портландцементу з домішкою 7 – 10 масових часток % спученого перлітового піску (СПП) [10, 15].

Таблиця 4 – Технологічні властивості полегшених і легких тампонажних розчинів з домішками СПП

Масова частка компонентів у суміші, мас. часток %				В/С	Густи на, кг/м ³	Розтічні сть, м	Водовід ділення, мл
ПЦТІ-50	ПЦТІ-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

Спучений перлітовий пісок отримують шляхом термічної обробки вулканічної породи перліту (при температурах 800 ÷ 1000 °С) згідно вимог. У процесі нагрівання частинки перліту, які мають шкаралупоподібну

структуру, случуються, з них видаляється $3 \div 5$ % зв'язаної води, і об'єм матеріалу збільшується в 10 – 20 разів.

За оксидами СПП складається з $65 \div 75$ % SiO_2 і $10 \div 15$ % Al_2O_3 , а також містить Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O .

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

Особлива, шаралупоподібна структура зерен спученого перлітового піску (їх пористість складає $80 \div 90$ %) є передумовою втягнення повітря у процесі замішування тампонажного матеріалу.

Густина тампонажного розчину з домішками СПП– 1180 – 1450 кг/м^3 при В/С – 0,65 – 0,95. Термічний інтервал застосування 20 – 70°C. Переваги – низька густина тампонажного розчину, низькі показники водовідділення. Недоліки – низька термостійкість, високі показники газопроникності каменю. Технологічні властивості полегшених і легких тампонажних розчинів з домішками СПП показано в таблиці 4.

Висновки. Розглянуті розробки дали змогу забезпечити галузь полегшеними (густина тампонажного розчину (ρ) $\geq 1400 \div \leq 1650 \text{ кг/м}^3$) і легкими ($\rho \leq 1400 \text{ кг/м}^3$) тампонажними матеріалами та композиціями для застосування в різноманітних гірничо-геологічних умовах глибоких свердловин на геологорозвідувальних площах України.

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 полегшенный 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. Верецака, 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. Нові полегшені і легкі тампонажні матеріали: науковий вісник / В.М. Орловський, С.Г. Михайленко, О.В. Лужаниця // 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. Облегшенный тампонажный материал / 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 тампонажный розчин / Лужаниця О.В., Михайленко С.Г., Мартинова Л.Б., Орловський В.М., Бандур Р.В., Аниськовцев О.В., Баранецкий 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 тампонажный материал / Лужаниця О.В., Михайленко С.Г., Орловський В.М., Мартинова Л.Б. (Україна); № и 2007 08569; Заявлено 26.07.07; Опубл. 10.12.07, Бюл. № 20.

15. 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.

DEVELOPMENT PLUGGING MATERIALS LOW DENSITY

Orlovsky V.M., PhD, Docent,

Pohylko A.M., assistant

Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University

The question of development of low density cement materials. The mechanisms involved in their development. Developed new formulations of lightweight cement mixtures for use in a variety of geological conditions of deep oil and gas wells.

Keywords: *facilitated cement of materials, easy cement of materials, impurity which makes it easier.*

*Орловський В.Н., к.т.н., доцент,
Похилюк А.Н., ассистент
Полтавський національний технічний університет імені Юрія
Кондратюка*

РАЗРАБОТКА ТАМПОНАЖНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПОНИЖЕННОЙ ПЛОТНОСТИ

Рассмотрены вопросы разработки облегченных и легких тампонажных материалов, описаны механизмы задействованные при их разработке. Разработаны рецептуры новых облегченных и легких тампонажных смесей для применения в различных горно-геологических условиях глубоких нефтяных и газовых скважин.

Ключевые слова: *легкий тампонажный материал, облегченный тампонажный материал, облегчающая добавка*