

УДК 622.245.42

**В. М. ОРЛОВСЬКИЙ**, канд. техн. наук, доцент (Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка), svaroh13@ukr.net, ORCID-0000-0002-8749-5354,

**А. М. ПОХИЛКО**, асистент (Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка), Misyac@i.ua, ORCID-0000-0003-3033-5322

# МОДИФІКОВАНИЙ ТАМПОНАЖНИЙ МАТЕРІАЛ ЗНИЖЕНОЇ ГУСТИНИ

Розроблено й досліджено модифікований тампонажний матеріал на основі стандартних тампонажних портландцементів ПЦТІ-50, ПЦТІ-100 з полегшувальною домішкою – спученим перлітовим піском. Мінімальна густина тампонажних розчинів на основі розробленого матеріалу становить 1 160–1 280 кг/м<sup>3</sup>, якщо забезпечено задовільну якість інших параметрів тампонажного розчину й каменю.

Опрацьовано та підбрано оптимальні рецептури нових модифікованих тампонажних матеріалів зниженої густини на основі стандартних тампонажних портландцементів і полегшувальної домішки спученого перлітового піску.

Результати роботи мають практичне застосування під час цементування глибоких нафтових і газових свердловин у складних гірничо-геологічних умовах геологорозвідувальних площ і промислових родовищ вуглеводневої сировини України.

**Ключові слова:** легкий тампонажний матеріал, полегшений тампонажний матеріал, полегшувальна домішка, міцність каменю, адгезія.

**V. M. Orlovskiy, PhD**, associate professor (Poltava national technical Yuriy Kondratiuk university), svaroh13@ukr.net, ORCID-0000-0002-8749-5354,

**A. M. Pokhylko**, assistant (Poltava national technical Yuriy Kondratiuk university), Misyac@i.ua, ORCID-0000-0003-3033-5322

## MODIFIED LIGHTWEIGHT PLUGGING MATERIAL

The modifying plugging material on based of standard oil-well portland cement ПЦТІ-50, ПЦТІ-100 comprising lightweight impure the expanded perlite sand has been developed. Minimum density of plugging material comprising lightweight impure is a 1 160–1 280 kg/m<sup>3</sup> while ensuring the satisfactory quality of other parameters plugging mortar and stone.

The developing and selecting the optimal recipe of the new modify ultralow-density cement system on based of plugging Portland cement and lightweight additive expanded perlite sand has been done.

The theoretical and practical methods has been by used the studies. The laboratory equipment, which is modeling the reservoir conditions has been used for experiments research. The compounding properties of cementing slurry and cement stone was carried out using a standard recording device. In particular slurry density has been determined using a pycnometer, the amount of water in the solution is selected using the device КР-1, separation of water from cement slurries was determined by standard methods according to ДСТУ БВ.2.7-86-99, the time necessary for pumping the cement slurry was determined on consistometer КЦ-3, was used to study adhesion Laboratory Press ПСУ-10 with a hydraulic drive and a special attachment, stone definition of strength in bending was carried out according to ДСТУ ВВ.2.7-86-99 on the device for testing samples for tensile bending. The test samples under compression was performed on a laboratory press ПСУ-10.

The quantity of experimental research can provide the 95 % of confidential coefficient of the result.

The results of the research have practical using in the cementing of deep oil and gas wells in complex geological conditions of exploration areas and commercial hydrocarbon deposits in Ukraine.

**Keywords:** lightweight plugging material, light plugging material, lightweight additive, cement stone strength, adhesion.

**Вступ.** У процесі цементування свердловин в умовах низьких та аномально низьких пластових тисків (АНПТ), схильних до поглинання промивальних рідин і тампонажних розчинів, та геостатичних температур до 70 °С, а також, коли треба підняти тампонажний розчин на велику висоту за один захід, потрібні тампонажні матеріали зі зниженою густиною цементного розчину.

На сьогодні промисловість України в заводських умовах виготовляє лише один різновид полегшеного тампонажного цементу ПЦТІІ-Пол5-100 з нижньою границею густини 1450 кг/м<sup>3</sup>, який призначений для температур, вищих за 50 °С [1]. Проте сьогодні на більшій частині нафтогазових родовищ України властиві умови, які потребують застосування полегшених і легких тампонажних розчинів з різними технологічними характеристиками. Тому проводять дослідження, спрямовані на розширення асортименту тампонажних матеріалів зниженої густини для застосування в різноманітних гірничо-геологічних умовах глибоких нафтогазових свердловин України.

**Основні дослідження та публікації.** Тампонажні цементи з пониженою густиною цементного розчину належать до модифікованих матеріалів. На основі аналізу наукових дже-

рел відомо, що є декілька способів зниження густини тампонажних розчинів [2, 3]:

- 1) зниження густини твердої фази додаванням легкого наповнювача або застосуванням зв'язувальної речовини з меншою густиною;
- 2) підвищення водосумішевого відношення з одночасним збільшенням водоутримувальної здатності розчину;
- 3) уведення в тампонажний розчин газової фази з одночасним її диспергуванням і стабілізацією утвореної піни:
  - а) аерування тампонажних розчинів;
  - б) додавання штучних або природних мікрочастинок (капсул);
  - в) додавання спеціально оброблених, спучених матеріалів з великим ступенем кавернозності та низькою насипною масою;
- 4) заміна частини води вуглеводневою рідиною меншої густини;
- 5) комбіновані способи.

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

Серед найпоширеніших в Україні полегшених тампонажних матеріалів застосовують матеріали, що стосуються першого та другого способів або поєднують у собі властивості, притаманні одночасно композиціям першого та другого спо-

собів полегшення тампонажних розчинів. Спосіб одночасного зниження густини і збільшення водосумішевого відношення застосовано під час створення тампонажних матеріалів, які виробляли в Україні в промислових масштабах.

У 70-х роках ХХ сторіччя в СРСР розроблено полегшені тампонажні цементи ОЦГ – на основі суміші шлаку, портландцементного клінкеру і трепелу зі співвідношенням компонентів 1:1 (за масою) та ОШЦ – на основі суміші шлаку та глини (наприклад, бентоніту). Діапазон густини тампонажних розчинів на основі ОЦГ становить  $1450 \div 1600 \text{ кг/м}^3$ , водосумішеве відношення –  $V/C=0,7 \div 1,1$ ; допустимі температури застосування –  $40 \div 150 \text{ }^\circ\text{C}$ . Діапазон густини тампонажних розчинів на основі ОШЦ –  $1450 \div 1550 \text{ кг/м}^3$ ,  $V/C=0,85 \div 0,95$ , рекомендована температура застосування для ОШЦ-120 –  $80 \div 160 \text{ }^\circ\text{C}$ , ОШЦ-200 –  $160 \div 220 \text{ }^\circ\text{C}$  [4, 5]. Цементи ОЦГ і ОШЦ виготовляв ПАТ “Завод об’важнювачів” у м. Костянтинівці Донецької області.

В Україні розроблено також полегшені цементи ПЦТП-Пол5-100 і ПЦТП-Пол4-100, до складу яких входять 50 % цементного клінкеру і 50 % полегшувальної домішки – цеолітизованого туфу, а також 3 % гіпсу [6]. Діапазон густини тампонажних розчинів на основі таких цементів –  $1400 \div 1500 \text{ кг/м}^3$  при  $V/C=1 \pm 0,2$ . Рекомендована температура застосування –  $50 \div 100 \text{ }^\circ\text{C}$ .

**Мета.** Підвищити якість розмежування гірських порід і нафтогазоносних горизонтів на геологорозвідувальних площах і промислових родовищах у зонах з АНПТ розробленням і застосуванням модифікованого тампонажного матеріалу зниженої густини з високими технологічними властивостями на основі стандартного тампонажного портландцементу та полегшувальної домішки.

**Таблиця 1. Технологічні властивості модифікованого тампонажного матеріалу зниженої густини з домішками СПП**

№ з/п	Склад суміші, мас. част., %					В/С	Домішка НТФК, % від маси сухого матеріалу	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Розтічність, м	Водовідділення, см <sup>3</sup>	Прокачуваність, години-хвилини	
	ПТЦ-50	ПТЦ-100	СПП(Р)-100	СПП(Р)-75	СПП(М)-100						t = 50° C, P=20 МПа	t = 70° C, P=30 МПа
1	100	–	–	–	–	0,50	–	1830	0,185	3,0	–	–
2	97	–	3	–	–	0,65	–	1510	0,220	1,5	–	–
3	95	–	5	–	–	0,70	–	1390	0,200	1,0	–	–
4	93	–	7	–	–	0,74	–	1340	0,215	0	–	–
5	90	–	10	–	–	0,90	–	1230	0,190	2,0	–	–
6	88	–	12	–	–	0,95	–	1170	0,200	1,0	–	–
7	–	100	–	–	–	0,50	–	1850	0,215	4,0	2–35	1–10
8	–	95	5	–	–	0,70	–	1400	0,205	1,0	2–20	–
9	–	95	5	–	–	0,70	0,01	1400	0,220	4,0	>3–00	>3–00
10	–	93	7	–	–	0,75	–	1350	0,200	1,0	–	–
11	–	90	10	–	–	0,90	–	1250	0,205	1,0	1–40	–
12	–	90	10	–	–	0,90	0,01	1250	0,220	5,0	>3–00	>3–00
13	–	88	12	–	–	0,95	–	1160	0,200	0	–	–
14	92,5	–	–	7,5	–	0,98	–	1180	0,195	0	–	–
15	–	95	–	5	–	0,80	–	1300	0,200	2,0	–	–
16	–	95	–	–	5	0,75	–	1410	0,210	6,0	–	–
17	–	95	–	–	5	0,75	0,01	1410	0,230	10,0	–	–
18	–	92	–	–	8	0,80	–	1330	0,195	2,0	–	–
19	–	92	–	–	8	0,85	–	1315	0,205	6,0	–	–
20	–	90	–	–	10	0,95	–	1240	0,190	6,5	1–55	–
21	–	90	–	–	10	0,95	0,01	1240	0,215	10,0	>3–00	>3–00

**Постановка завдання.** Завдання досліджень полягає в розробленні нового модифікованого тампонажного матеріалу зниженої густини для застосування в умовах глибоких нафтових і газових свердловин під час цементування високопроникних пластів і розрізів свердловин у зонах АНПТ.

**Виклад основного матеріалу і результати.** У процесі виконання завдань, з якими виробничі геологічні об’єднання України звернулися до науковців галузі, колектив дослідників у Полтавському відділенні УкрДГРІ розробив модифікований тампонажний матеріал зниженої густини з високими технологічними властивостями на основі стандартних тампонажних портландцементів ПЦТІ-50 і ПЦТІ-100 та полегшувальної домішки, в якій застосовано спучений перлітовий пісок.

Спучений перлітовий пісок (СПП) отримують термічним обробленням вулканічної породи перліту за температур  $800 \div 1000 \text{ }^\circ\text{C}$ . У процесі нагрівання частинки перліту, які мають шкаралупоподібну структуру, спучуються, з них видаляється  $3 \div 5 \%$  зв’язаної води, унаслідок об’єму матеріалу збільшується в  $10\text{--}20$  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  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ .

Залежно від фракційного складу є два різновиди СПП: “рядовий” (СПП(Р)) і “мілкий” (СПП(М)), також у межах кожного із цих двох різновидів є 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.

У процесі досліджень вивчено технологічні властивості тампонажних розчинів зниженої густини з домішками різних марок СПП (табл. 1) [7, 8]. Аналіз результатів лабораторних досліджень свідчить про те, що:

– на основі суміші ПЦТ і СПП можна отримати полегшені й легкі тампонажні розчини густиною 1 160–1 510 кг/м<sup>3</sup>, при цьому максимальний уміст полегшувальної домішки становить 12 %;

– за фіксованого вмісту СПП завдяки варіюванню водосумішевого відношення можна змінювати густину в межах від 2 до 8 % зі збереженням задовільних властивостей тампонажного розчину;

– тампонажні розчини зниженої густини мають високу седиментаційну стійкість, яка відповідає наявним вимогам до полегшених тампонажних розчинів;

– додавання СПП призводить до скорочення термінів прокачування, які можна регулювати за допомогою стандартних сповільнювачів, наприклад, нітрилотриметилфосфонові кислоти (НТФК).

Відомо, що для полегшених тампонажних розчинів, які містять повітроутримувальну домішку, характерним є зростання густини під впливом тиску.

Особлива, шаралупоподібна структура зерен спученого перлітового піску (їхня пористість становить 80÷90 %) є передумовою всмоктування повітря в процесі замішування тампонажного матеріалу.

Проаналізовано рецептуру легких тампонажних розчинів з різним умістом СПП за різних тисків. За результатами досліджень побудовано залежність густини від тиску з фіксованими співвідношеннями ПЦТ і СПП у суміші (рисунок).

Результати досліджень засвідчують такі закономірності:

– зі зростанням умісту СПП у суміші збільшується вплив тиску на густину, зокрема, при 5 % вмісту СПП відносно зро-

стання густини становить 6 %, а при 10 % умісту СПП відносно зростання густини – 10 %;

– форма кривих зі зростанням тиску від 0,1 до 10 МПа свідчить про стабілізацію густини.

У табл. 2 подано основні фізико-механічні властивості тампонажного каменю: міцність, адгезія до металу, газопроникність. Аналіз цих досліджень дає змогу визначити такі закономірності:

– застосування різновидів СПП (СПП(Р) і СПП(М)) суттєво не впливає на величину фізико-механічних властивостей;

– підвищення вмісту СПП у суміші призводить до падіння величин міцності й адгезії та зростання газопроникності. Це, в основному, пов'язано зі збільшенням водосумішевого відношення (В/С) у рецептурах тампонажних розчинів зі зниженою густиною;

– в інтервалі температур від 20 до 60 °С спостерігається покращання фізико-механічних показників каменю;

– зі зростанням температури до 80 °С суттєво знижується міцність, що свідчить про обмежену термостійкість полегшеного тампонажного матеріалу;

– камінь на основі полегшеного тампонажного матеріалу узгоджується з вимогами ДСТУ щодо міцності полегшених тампонажних цементів.

**Висновки.** Розроблено полегшені й легкі тампонажні матеріали густиною 1 180–1 450 кг/м<sup>3</sup> на основі тампонажних портландцементів (ПЦТІ-50, ПЦТІ-100) і полегшувальної домішки СПП зі співвідношенням компонентів зв'язувального матеріалу за масою від 93:7 до 90:10.

Визначено, що тампонажні розчини зниженої густини узгоджуються з наявними ДСТУ щодо вимог до полегшених цементів.

Рекомендований термічний інтервал застосування полегшених і легких тампонажних матеріалів становить 20÷60 °С, допустимий – 15÷70 °С.

Наукова цінність розроблення полягає в тому, що підібрано оптимальні рецептури нових модифікованих тампонажних матеріалів.

Розглянута розробка дає змогу розширити діапазон густин під час застосування тампонажних матеріалів зі зниженою густиною, що має практичну цінність. Низька густина нових тампонажних розчинів, якщо забезпечено задовільну якість інших властивостей розчину й каменю, є важливим чинником під час цементування високопроникних пластів і розрізів свердловин у зонах АНПТ, а також у разі піднімання цементного розчину на велику висоту за один захід.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Горський В. Ф. Тампонажні матеріали і розчини/В. Ф. Горський. – Чернівці, 2006. – 524 с.
2. Данюшевський 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. – 13 с.

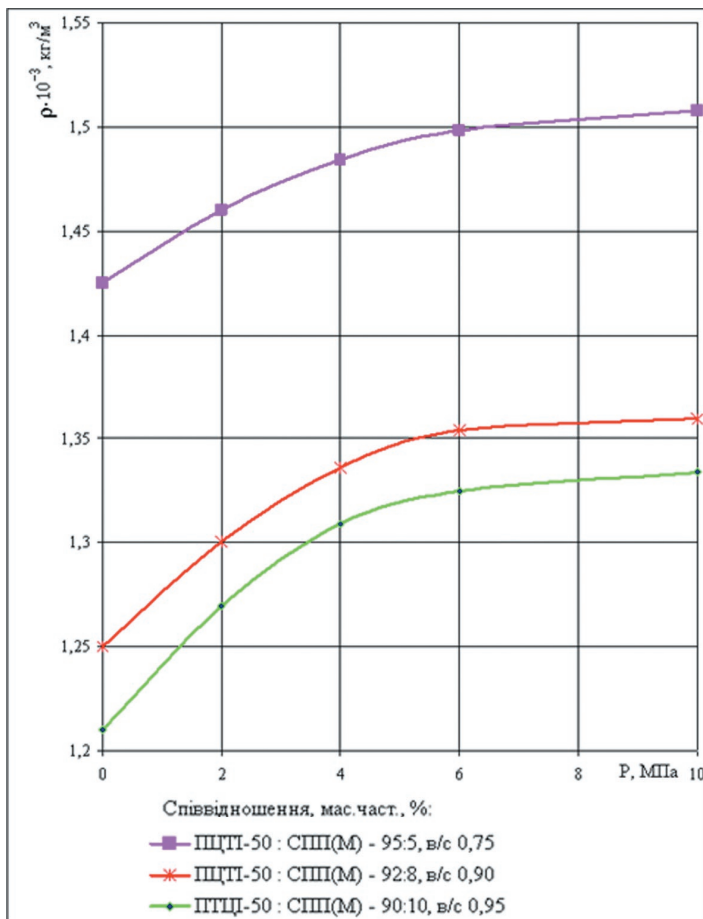


Рисунок. Залежність густини тампонажних розчинів зниженої густини від тиску

**Таблиця 2. Фізико-механічні властивості тампонажного каменю на основі модифікованого тампонажного матеріалу зниженої густини з домішками СПП**

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

Примітки. Міцність при вигині, газопроникність та адгезію вимірювали в камені, який зберігався у відповідних умовах дві доби. За температур 20, 40 °С застосовували ПЦЦТІ-50, за температур 60, 80 °С – ПЦЦТІ-100.

7. Орловський В. М. Нові полегшені і легкі тампонажні матеріали/ В. М. Орловський, С. Г. Михайленко, О. В. Лужаниця//Науковий вісник Івано-Франків. нац. техн. ун-ту нафти і газу. – 2010. – № 3. – С. 10–14.

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

7. Orlovskiy V. M., Mykhailenko S. H., Luzhanytsia O. V. New facilitated and easy grouting materials//Naukovyi visnyk Ivano-Frankiv. nats. universytetu nafty i hazu. – 2010. – № 3. – P. 10–14. (In Ukrainian).

8. Pat. 13254 Ukraine, IPC C 09 K 8/50. Tamponade mix/Luzhanytsia O. V., Mykhailenko S. H., Orlovskiy V. M., Martynov D. V. (In Ukraine). – № u 2005 09726; Stated 17.10.05; Publ. 15.03.06. – Bull. № 3. – 3 p. (In Ukrainian).

REFERENCES

1. Horskyi V. F. Grouting materials and mortars. – Chernivtsi, 2006. – 524 p. (In Ukrainian).  
 2. Danjushevskij V. S., Aliev R. M., Tolstyh I. F. Reference guide back-fill materials. – Moskva: Nedra, 1987. – 373 p. (In Russian).  
 3. Bulatov A. I., Danjushevskij V. S. Grouting materials. – Moskva: Nedra, 1987. – P. 164–167. (In Russian).  
 4. Novohatskij D. F. Special oil-well cements//RNTS “Burenie” – 1972. – № 6 – P. 26–28. (In Russian).  
 5. Novohatskij D. F., Voloshin V. A. Ways of improving the quality and prospects of production of cement materials to secure oil and gas wells//RNTS “Burenie” – 1978. – № 11. – P. 19–22. (In Russian).  
 6. TU U729755.01-94. Portland cement of componentpalette for normal and moderate temperatures. – 13 p.

Рукопис отримано 15.05.2017.