



УДК 622.245.42

## ТАМПОНАЖНІ МАТЕРІАЛИ ПОНИЖЕНОЇ ГУСТИНИ

*Орловський В.М.<sup>1</sup>, к. тех. н., доцент, svaroh13@ukr.net;*

*Білецький В.С.<sup>2</sup>, д. тех. н., професор, biletsk@i.ua;*

*Похилко А.М.<sup>2</sup>, асистент, Misyac@i.ua,*

*1 – Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Харків, Україна,*

*2 – Національний технічний університет ХПІ, Харків, Україна*

Розроблені і досліджені тампонажні матеріали пониженої густини з широким температурним діапазоном та високими технологічними властивостями. У процесі науково-дослідних робіт проведено підбір складових компонентів для створення модифікованих полегшених тампонажних матеріалів; розроблені модифіковані полегшені і легкі тампонажні матеріали з високими експлуатаційними властивостями; досліджено технологічні властивості тампонажних розчинів та одержаного каменю на основі нових полегшених тампонажних матеріалів; проведено вибір оптимальних рецептур полегшених тампонажних матеріалів.

Наукова цінність розробки полягає в проведеному виборі оптимальних рецептур нових полегшених тампонажних матеріалів. Результати роботи мають практичне застосування при цементуванні нафтових і газових свердловин в складних гірничо-геологічних умовах на геологорозвідувальних площах та промислових родовищах вуглеводнів.

## CEMENT COMPOSITIONS WITH LOW DENSITY

*Orlovskyy V.M.<sup>1</sup>, PhD, associate professor, svaroh13@ukr.net;*

*Biletsky V.S.<sup>2</sup>, Doctor of Technical Sciences, Professor, biletsk@i.ua;*

*Pochylko A.M.<sup>2</sup>, assistant, Misyac@i.ua,*

*1 – Kharkiv National University of Municipal Economy named after O.M. Beketova, Kharkiv, Ukraine,*

*2 – National Technical University KhPI, Kharkiv, Ukraine*

Low-density cementitious materials with a wide temperature range and high technological properties have been developed and researched. In the course of research works the selection of constituent components for creation of the modified facilitated cement materials is carried out; developed modified lightweight and light cement materials with high performance properties; technological properties of cement mortars and the received stone on the basis of new facilitated cement materials are investigated; the choice of optimal formulations of light cement materials was carried out.

The scientific value of the development lies in the selection of optimal formulations of new lightweight cementitious materials. The results of the work have practical application in the cementation of oil and gas wells in complex mining and geological conditions in exploration areas and industrial hydrocarbon deposits.

**Метою** даної роботи є розробка тампонажних матеріалів пониженої густини з широким температурним діапазоном та високими технологічними властивостями. Для досягнення цієї мети поставлені такі завдання досліджень:

– вибір складових компонентів для створення модифікованих полегшених тампонажних матеріалів;

– розробка модифікованих полегшених і легких тампонажних матеріалів з високими експлуатаційними властивостями;

– дослідження технологічних властивостей тампонажних розчинів та одержаного каменю на основі нових полегшених тампонажних матеріалів;

– вибір оптимальних рецептур полегшених тампонажних матеріалів.

**Методика.** При проведенні досліджень використані теоретичні та експериментальні методи. Експерименти проведені на лабораторному обладнанні, яке моделює пластові умови. Вимірювання технологічних властивостей тампонажного розчину і каменю проводилось з використанням стандартної реєструючої апаратури. Зокрема густина тампонажних розчинів визначалась з допомогою пікнометра, водосумішеве відношення розчинів підбиралось за допомогою приладу КР-1, водовідділення тампонажних розчинів визначалось за стандартною методикою згідно ДСТУ БВ.2.7-86-99, час загуснення тампонажних розчинів визначався на консистометрі КЦ-3, для вивчення адгезії використовувався лабораторний прес ПСУ-10 з



СЬОМА МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ  
«НАДРОКОРИСТУВАННЯ В УКРАЇНІ.  
ПЕРСПЕКТИВИ ІНВЕСТУВАННЯ»

гідравлічним приводом та спеціальною приставкою, визначення границь міцності каменю при вигині проводилось згідно ДСТУ БВ.2.7-86-99 на приладі для випробування взірців-балочок на розтягування при вигині, при стискуванні – на пресі ПСУ-10.

Кількість проведених експериментів достатня для одержання результатів з довірчою вірогідністю 0,95.

**Результати.** Розроблені полегшені і легкі тампонажні матеріали на основі стандартних тампонажних матеріалів і модифікуючих полегшувальних домішок а також з використанням безклінкерних тампонажних матеріалів автоклавного твердіння.

**Наукова новизна.** Наукова цінність розробки полягає в проведеному виборі оптимальних рецептур нових полегшених тампонажних сумішей.

**Практична значимість.** Практична цінність роботи полягає в тому, що результати роботи дають можливість забезпечити галузь полегшеними і легкими тампонажними матеріалами з високими експлуатаційними властивостями.

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

**Постановка проблеми.** 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 °С, а також при необхідності підняття тампонажного розчину на велику висоту в один прийом потрібні тампонажні матеріали з пониженою густиною цементного розчину.

На даний час промисловістю України в заводських умовах виготовляється лише один вид полегшеного тампонажного цементу ПЦТШ-Пол5-100 з нижньою границею густини 1450 кг/м<sup>3</sup>, призначений для температур вищих 50 °С [1]. Проте сьогодні на більшості нафтогазових родовищ 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 різних гірничо-геологічних умовах нафтогазових родовищ України.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Тампонажні цементні розчини 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 домішки легкого наповнювача або з використанням в'язучої речовини меншої густини;
- 2) підвищення водосумішевого відношення з одночасною стабілізацією тампонажного розчину;
- 3) введенням в тампонажний розчин газової фази з її диспергуванням та стабілізацією утвореної піни:
  - а) шляхом аерації;
  - б) введенням штучних або природних мікрочасток (капсул);
  - в) введенням спеціально оброблених, спучених матеріалів з великим ступенем кавернозності та низькою насипною масою;
- 4) заміною частини водяної фази вуглеводневою рідиною меншої густини;
- 5) комбіновані способи.

Вибір способу зниження густини визначається умовами застосування та технологічними можливостями.

Серед найпоширеніших в Україні полегшених тампонажних матеріалів застосовуються матеріали, що відносяться до першого та другого способів, або об'єднують у собі якості, притаманні одночасно композиціям першого та другого способів полегшення тампонажних розчинів. Спосіб одночасного зниження густини і збільшення водосумішевого відношення був



СЬОМА МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ  
«НАДРОКОРИСТУВАННЯ В УКРАЇНІ.  
ПЕРСПЕКТИВИ ІНВЕСТУВАННЯ»

застосований при створенні тампонажних матеріалів, які вироблялися в Україні в промислових масштабах.

У 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 пониженої густини з широким температурним діапазоном для застосування в різних гірничо-геологічних умовах нафтових і газових свердловин.

**Виклад основного матеріалу і результати.** При виконанні 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. Розглянемо ці розробки.

1. Полегшені цементно-глинисті тампонажні суміші (ЦГС) з домішками 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  $75 \text{ }^\circ\text{C}$ ) і корозійну стійкість та складність приготування (як правило, портландцемент замішують на раніше приготовленому глинистому розчині) сьогодні ЦГС практично не використовуються.

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  $60 - 100 \text{ }^\circ\text{C}$ . Перевагами ДЗС є розширення тампонажного матеріалу при твердінні. Недоліком є відносно низька міцність цементного каменю.

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

При вмісті 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  $50 - 160 \text{ }^\circ\text{C}$ .

4. Полегшені тампонажні розчини на основі портландцементу або цементно-зольної суміші з домішкою 0,04 – 0,11 масових часток % реагенту-стабілізатора Duoviz [10].

Густина тампонажного розчину  $1460 - 1530 \text{ кг/м}^3$  при В/Ц –  $0,70 - 0,97$ . Термічний інтервал застосування  $50 - 140 \text{ }^\circ\text{C}$ . Переваги – висока стабільність тампонажного розчину, термостійкість і підвищена міцність каменю. Технологічні властивості стабілізованих полегшених ЦЗС проведено в таблиці 1.



Таблиця 1

Технологічні властивості стабілізованих полегшених ЦЗС

Склад суміші, мас. част., %		Стабілізатор «DuoViz» від маси сухого мат., %	В/С	Густина, кг/м <sup>3</sup>	Розтічність, м	Водовідділення, см <sup>3</sup>	Міцність при стисканні через 2 доби, МПа			
ПЦТІ-100	ЗК						t = 50 °С, P = 20,0 МПа	t = 75 °С, P = 30,0 МПа	t = 100 °С, P = 40,0 МПа	t = 140 °С, 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

5. Полегшені і легкі тампонажні розчини з домішкою 5 – 13 % фільтроперліту як полегшувального модифікуючого матеріалу [7, 10].

Густина таких сумішей знаходилась в межах 1350 – 1550 кг/м<sup>3</sup>. Недоліком сумішей є невисокі фізико-механічні показники цементного каменю (при густині нижче 1470 кг/м<sup>3</sup> його міцність не відповідає існуючим вимогам) і обмежений температурний інтервал використання (50 – 100 °С).

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

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

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

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

8. Полегшені і легкі тампонажні суміші з домішкою дрібнозернистого пустотілого заповнювача – зольних мікросфер [10].

Густина тампонажного розчину 1100 – 1420 кг/м<sup>3</sup>, залежно від співвідношення компонентів у суміші, термічний інтервал застосування 20 – 160 °С. 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.

9. Полегшені і легкі тампонажні розчини (ПЛТР), з домішкою 10 – 15 масових часток % модифікуючого гідрофобізованого адсорбенту КОГ, що викликає газонасичення тампонажного розчину [10].

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.



СЬОМА МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ  
«НАДРОКОРИСТУВАННЯ В УКРАЇНІ.  
ПЕРСПЕКТИВИ ІНВЕСТУВАННЯ»

Густина 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 матеріалів) газопроникність. Недоліки: інтенсивне піноутворення у процесі приготування тампонажного розчину; під дією гідростатичного тиску 10 МПа густина розчину підвищується на 15 – 20 %.

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

Спучений перлітовий пісок отримують шляхом термічної обробки вулканічної породи перліту при температурах 800 ÷ 1000 °С. У процесі нагрівання частинки перліту, які мають шкаралупоподібну структуру, спучуються, з них видаляється 3 ÷ 5 % зв'язаної води, і об'єм матеріалу збільшується в 10 – 20 разів.

За окислами СПП складається з 65 ÷ 75 % SiO<sub>2</sub> і 10 ÷ 15 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, також містить Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O.

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

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

Густина тампонажного розчину з домішками СПП – 1180 – 1450 кг/м<sup>3</sup> при В/С – 0,65 – 0,95, термічний інтервал застосування 20 – 70 °С. 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 2.

Таблиця 2

Технологічні властивості полегшених і легких тампонажних розчинів з домішками СПП

Масова частка компонентів у суміші, мас. част. %				В/С	Густина, кг/м <sup>3</sup>	Розтічність, м	Водо-відділення, 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

Висновки

1. Проведено підбір складових компонентів для створення модифікованих полегшених тампонажних матеріалів.

2. Розроблені модифіковані полегшені і легкі тампонажні суміші з високими експлуатаційними властивостями на основі в'язучих матеріалів доломіту, золи висококальцієвої, тампонажних портландцементів ПЦТІ-50 і ПЦТІ-100 та модифікуючих полегшувальних домішок з широким температурним діапазоном та високими технологічними властивостями.



СЬОМА МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ  
«НАДРОКОРИСТУВАННЯ В УКРАЇНІ.  
ПЕРСПЕКТИВИ ІНВЕСТУВАННЯ»

3. Досліджено технологічні властивості тампонажних розчинів та одержаного каменю на основі нових полегшених тампонажних матеріалів. Встановлено, що тампонажні розчини на основі нових полегшених тампонажних матеріалів відповідають існуючим ДСТУ що до вимог до полегшених тампонажних цементів.

4. Проведено вибір оптимальних рецептур нових полегшених тампонажних матеріалів.

Наукова цінність розробки полягає в проведеному виборі оптимальних рецептур нових полегшених тампонажних сумішей. Розглянуті розробки дають змогу забезпечити галузь полегшеними і легкими тампонажними матеріалами з високими експлуатаційними властивостями, в чому полягає практична цінність.

**Список використаних джерел:**

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. Михайленко С.Г. Оптимизация процессов цементирования скважин / С.Г. Михайленко, А.С. Серяков, В.Н. Орловский [и др.] // Техника и технология геологоразведочных работ, организация производства. – Москва: 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. 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.