

УДК 622.245.42

**В. М. ОРЛОВСЬКИЙ**, канд. техн. наук, доцент (Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова), svaroh13@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-8749-5354>,

**А. М. ПОХИЛКО**, асистент (Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка), Misyac@i.ua, <https://orcid.org/0000-0003-3033-5322>

 <https://doi.org/10.31996/mru.2018.3.42-45>

**V. M. ORLOVSKIY**, PhD, associate professor (O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv), Kharkiv, Ukraine, svaroh13@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-8749-5354>,

**A. M. POKHYLKO**, assistant (Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University), Poltava, Ukraine, Misyac@i.ua, <https://orcid.org/0000-0003-3033-5322>

## ПОЛЕГШЕНІ ТАМПОНАЖНІ СУМІШІ

### LIGHT CEMENT MIXTURES

Розроблено й досліджено полегшені тампонажні суміші з високими експлуатаційними властивостями на основі стандартного тампонажного портландцементу ПЦТІ-100 та будівельних цементів ПЦІ-500-Н, ШПЦ Ш/А-400 з полегшувальною домішкою – кислотою золою винесення теплових електростанцій. Мінімальна густина тампонажних розчинів на основі розроблених сумішей становить відповідно 1 460–1 530 та 1 580–1 650 кг/м<sup>3</sup> при забезпеченні високої якості інших технологічних властивостей тампонажного розчину й каменю.

Розроблено та підібрано оптимальні рецептури нових полегшених тампонажних сумішей.

Результати роботи мають практичне застосування під час цементування нафтових і газових свердловин у складних гірничо-геологічних умовах на геологорозвідувальних площах та промислових родовищах вуглеводнів.

**Ключові слова:** полегшена тампонажна суміш, густина, розтічність, водовідділення, міцність каменю.

**Вступ.** Для забезпечення нафтогазової галузі тампонажними цементами для використання в різноманітних гірничо-геологічних умовах велику увагу приділяють дослідженню й застосуванню полегшених (густина  $\geq 1400 \div \leq 1650$  кг/м<sup>3</sup>) і легких (густина  $\leq 1400$  кг/м<sup>3</sup>) тампонажних розчинів. Такі розчини, на відміну від розчинів на основі портландцементу, що мають густина 1 800–1 900 кг/м<sup>3</sup>, одержали назву тампонажних розчинів пониженої густини або полегшених цементних розчинів.

Широке застосування полегшених тампонажних матеріалів стало можливим лише після перегляду вимог до механічної міцності цементного каменю. Потреба застосування полегшених тампонажних матеріалів виникла через збільшення глибин нафтових і газових свердловин і як наслідок – ускладнення умов буріння, які потребують докорінної зміни деяких властивостей цементного розчину: зниження густини, сповільнення процесу загущення, підвищення термостійкості, протиударної стійкості, а також корозійної стійкості цементного каменю в умовах полімінеральної агресії пластових вод. Досягнення таких цілей є неможливим у разі застосування немодифікованих портландцементів, але їх легко втілити завдяки введенню до складу цементного розчину деяких домішок, зокрема бентоніту, спученого перліту, пуцоланових матеріалів тощо. Проте введення до складу портландцементу полегшувальних домішок набагато знижує міцність цементного каменю, особливо в початковий період тужавіння.

Вітчизняні й зарубіжні теоретичні дослідження [5, 11] та досвід застосування спеціальних цементів з низькою міцністю каменю засвідчили, що цементний камінь з міцністю на

Lightweight cement mixtures with high technological properties based on the standard well cement Portland cement ПЦТІ-100 and building cements ПЦІ-500-Н, ШПЦ Ш/А-400 with a light impurity-acid fly ash of thermal power stations were developed and investigated. The minimum density of cement mortars based on the developed mixtures is, respectively, 1 460–1 530 and 1 580–1 650 kg/m<sup>3</sup>, while ensuring the high quality of other technological properties of cement mortar and stone.

The development and selection of optimal recipes for new lightweight cement mixtures has been carried out.

The results of the work are of practical use in cementing oil and gas wells in complex mining and geological conditions in geological exploration areas and industrial hydrocarbon fields.

**Keywords:** light weight slurry, density, spreadability, water separation, stone strength.

стиснення 3,5 МПа має достатній запас і його можна визнати надійним тампонажним матеріалом для розмежування пластів у нафтових і газових свердловинах. Згідно з результатами досліджень, мінімальна величина механічної міцності цементного каменю в деяких випадках для запобігання перетіканням рідини або газу з високонапірних горизонтів у зону продуктивного пласта може бути ще меншою і становити 0,55 МПа під час згинання й приблизно 0,91 МПа під час стикування. Розрахунки, які провів А. І. Булатов [1], свідчать, що для утримання обсадної колони діаметром 168 мм завдовжки 3 000 м потрібно всього 30 м цементного кільця з міцністю на згинання до 0,1 МПа.

**Головні дослідження й публікації.** У 1970 рр. у СРСР розробили й виготовляли полегшені тампонажні цемента ОЦГ, основою яких була суміш металургійного шлаку, портландцементного клінкеру і трепелу. Виготовляли також полегшені цемента ОШЦ, основою яких були суміші металургійного шлаку й глини. Густина тампонажних розчинів на основі цементів ОЦГ у разі водосумішевих відношень (В/С) – 0,7÷1,1 становлять 1 450÷1 600 кг/м<sup>3</sup>, температура застосування 40÷150 °С. Густина тампонажних розчинів на основі ОШЦ у разі В/С – 0,85÷0,95 дорівнюють 1 450÷1 550 кг/м<sup>3</sup>, температура застосування для ОШЦ-120 – 80÷160 °С, для ОШЦ-200 – 160÷220 °С [6, 7]. Полегшені цемента ОЦГ і ОШЦ виготовляв Костянтинівський ВАТ “Завод обважнювачів”

В Україні виготовляли модифіковані полегшені тампонажні цемента ПЦТІІ-Пол5-100 і ПЦТІІІ-Пол4-100 на основі цементного клінкеру (50 %) і полегшувальної домішки – цеолітизованого туфу (50 %) та домішки гіпсу (3 %) [10]. Густина тампонажних розчинів із цементів ПЦТІІІ-Пол5-100 і ПЦТІІІ-Пол4-100 в разі В/С=1,0 становить 1 400÷1 500 кг/м<sup>3</sup>, температура їхнього застосування 50÷100 °С.

Сьогодні в Україні виготовляють полегшений спецемент ЦТО 1,5-100, призначений для помірних температур (Костянтинівський ВАТ “Обважнювач”). Нижня межа густини тампонажного розчину із цього цементу становить 1500 кг/м<sup>3</sup>. Виготовляють також полегшений цемент ПЦТІ-П-Пол5-100, призначений для температур, вищих від 50 °С (Кам’янець-Подільський ВАТ “Подільський цемент”) [2]. Нижня межа густини тампонажного розчину із цементу ПЦТІІІ-Пол5-100 дорівнює 1450 кг/м<sup>3</sup>.

Проте під час кріплення свердловин на нафтових і газових родовищах України часто наявні умови, які потребують застосування полегшених тампонажних матеріалів з різними технологічними властивостями. На сьогодні цементна галузь промисловості не може забезпечити потреби виробників широким спектром полегшених тампонажних матеріалів.

**Мета.** Підвищення якості розмежування гірських порід і нафтогазоносних горизонтів на геологорозвідувальних площах та промислових родовищах під час підняття тампонажного розчину на велику висоту та під час цементування свердловин з інтервалами аномально низьких пластових тисків (АНПТ) через розроблення й застосування полегшених термостійких тампонажних сумішей з високими технологічними властивостями на основі стандартного тампонажного портландцементу ПЦТІ-100 та портландцементів загальнобудівельного призначення (ПЦЗБП) й полегшувальної домішки – золи винесення теплових електростанцій з використанням у рецептурах з великим водосумішевим відношенням реагента-стабілізатора Duoviz.

**Постановка задачі.** Задачею досліджень є розроблення полегшених термостійких тампонажних сумішей для застосування в різноманітних гірничо-геологічних умовах нафтових і газових свердловин у разі потреби підняття тампонажного цементу на велику висоту, а також під час цементування високопроникних пластів і розрізів свердловин у зонах АНПТ.

**Виклад основного матеріалу й результати.** У процесі виконання замовлень виробничих геологічних підприємств колектив дослідників на базі Полтавського відділення УкрДГРІ розробив низку полегшених тампонажних сумішей з високими технологічними властивостями на основі

стандартних тампонажних портландцементів ПЦТІ-100 та ПЦЗБП, зокрема, портландцементу ПЦІ-500-Н і шлакопортландцементу ШПЦ Ш/А-400 та полегшувальної домішки кислотої золи винесення теплових електростанцій (ТЕС) [4].

Унаслідок досліджень технологічних властивостей ПЦЗБП, а також їхніх сумішей з кислотою золою винесення теплових електростанцій (табл. 1) встановлено такі закономірності:

- за своїми технологічними властивостями цементу ПЦІ-500-Н і ШПЦ Ш/А-400 відповідають вимогам ДСТУ Б В.2.7-88-99 [3] щодо тампонажних цементів нормальної густини для помірних температур;

- на основі сумішей ПЦЗБП з кислотою золою винесення, наприклад Курахівської ДРЕС, можна одержати поліпшені тампонажні композиції з високими експлуатаційними властивостями;

- одержаний камінь на основі сумішей ПЦЗБП з кислотою золою винесення теплових електростанцій має високу стійкість в умовах сульфатної й магnezіальної агресії (особливо рецептури, які містять шлакопортландцемент);

- тампонажні матеріали на основі сумішей ПЦЗБП (ПЦІ-500Н і ШПЦ Ш/А-400) з кислотою золою винесення за низкою показників, включно з корозійною стійкістю, переважають аналоги тампонажних сумішей з використанням ПЦТІ-100 виробництва Здолбунівського і Подільського цементних заводів.

З табл. 1, 2 бачимо, що тампонажні розчини на основі сумішей ПЦЗБП із золою винесення ТЕС за густиною належать до полегшених матеріалів.

Терміни загущення тампонажних розчинів на основі сумішей ПЦЗБП із золою винесення ТЕС можна легко регулювати за допомогою стандартних сповільнювачів (НТФК, ВКК, декстрин тощо).

Термічний інтервал застосування для рецептур з умістом золи до 40 % за масою – від 40 до 100 °С, рецептури з умістом золи 50 % і більше можна застосовувати за температур до 150 °С.

Для застосування у свердловинах, які потребують тампонажних матеріалів з нижчою густиною розчину, розроблено полегшені тампонажні розчини на основі цементно-зольних сумішей (ЦЗС) з підвищеним водовмістом та домішкою

**Таблиця 1. Технологічні властивості тампонажних сумішей на основі портландцементу загальнобудівельного призначення ПЦІ-500-Н і кислотої золи винесення (ЗК) Курахівської ДРЕС**

Склад тампонажної суміші, мас. част., %		В/С	Густина, кг/м <sup>3</sup>	Розтічність, м	Водовідділення, мл	Міцність при стисненні, МПа Газопроникність, мкм <sup>2</sup> ·10 <sup>-3</sup>					
						Умови тужавіння: температура, тиск					
ПЦІ-500-Н	ЗК					75 °С, 0,1 МПа	100 °С, 40,0 МПа	120 °С, 60,0 МПа	75 °С, 0,1 МПа	100 °С, 40,0 МПа	120 °С, 60,0 МПа
Час тужавіння 1 доба											
60	40	0,55	1650	0,20	10	4,3	6,9	10,5	1,50	1,05	0,70
50	50	0,56	1630	0,19	8,8	3,5	6,0	8,5	2,95	1,80	0,58
40	60	0,56	1610	0,19	8,8	–	4,1	8,2	–	–	0,85
Час тужавіння 2 доби											
60	40	0,55	1650	0,20	10	8,2	9,3	14,6	0,90	0,75	0,52
50	50	0,56	1630	0,19	8,8	7,7	9,1	12,9	2,00	1,35	0,30
40	60	0,56	1610	0,19	8,8	–	7,5	9,3	–	–	0,15
Час тужавіння 14 діб											
60	40	0,55	1650	0,20	10	9,9	14,2	13,0	0,41	0,25	0,15
50	50	0,56	1630	0,19	8,8	9,5	18,6	22,9	0,60	0,08	0,04
40	60	0,56	1610	0,19	8,8	–	18,0	20,1	–	–	0,02

Таблиця 2. Технологічні властивості тампонажних сумішей на основі портландцементу загальнобудівельного призначення ШПЦ Ш/А-400 і кислій золи винесення (ЗК) Курахівської ДРЕС

Склад тампонажної суміші, мас. част., %		В/С	Густина, кг/м <sup>3</sup>	Розтічність, м	Водовідділення, мл	Міцність при стисненні, МПа Газопроникність, мкм <sup>2</sup> ·10 <sup>-3</sup>					
ШПЦ Ш/А-400	ЗК					Умови тужавіння: температура, тиск					
						75 °С, 0,1 МПа	100 °С, 40,0 МПа	120 °С, 60,0 МПа	75 °С, 0,1 МПа	100 °С, 40,0 МПа	120 °С, 60,0 МПа
Час тужавіння 1 доба											
60	40	0,58	1630	0,20	7,5	4,5	6,0	8,9	2,15	2,15	0,92
50	50	0,58	1610	0,19	6,3	2,8	4,5	6,8	3,40	3,40	1,01
40	60	0,58	1580	0,19	5,0	–	–	4,4	–	–	2,30
Час тужавіння 2 доби											
60	40	0,58	1630	0,20	3,0	7,7	8,2	11,0	1,40	1,40	0,60
50	50	0,58	1610	0,19	2,5	4,5	7,4	7,5	1,05	1,05	0,32
40	60	0,58	1580	0,19	2,0	–	–	6,9	–	–	0,90
Час тужавіння 14 діб											
60	40	0,58	1630	0,20	3,0	8,8	12,5	10,5	0,35	0,35	0,18
50	50	0,58	1610	0,19	2,5	8,4	14,0	16,9	0,38	0,30	0,08
40	60	0,58	1580	0,19	2,0	–	–	14,8	–	–	0,20

Таблиця 3. Технологічні властивості полегшених стабілізованих цементно-золих сумішей з великим водосумішевим відношенням

Склад тампонажної суміші, мас. част., %		Стабілізатор "Duoviz", % (від маси сухої суміші)	В/С	Густина, кг/м <sup>3</sup>	Розтічність, м	Водовідділення, мл	Міцність під час вигинання, МПа			
ПЦТІ-100	ЗК						Умови тужавіння: температура, тиск (час тужавіння 2 доби)			
							50 °С, 20,0 МПа	75 °С, 30,0 МПа	100 °С, 40,0 МПа	140 °С, 70,0 МПа
60	40	0,11	0,97	1460	0,19	6,0	0,8	1,0	1,8	–
60	40	0,09	0,90	1490	0,19	6,0	0,9	1,1	2,0	–
50	50	0,05	0,80	1495	0,20	3,0	1,2	1,5	3,5	3,7
50	50	0,04	0,70	1530	0,21	3,0	1,5	2,5	5,1	6,5

0,04–0,11 масових часток % реагенту-стабілізатора Duoviz [8, 9]. Густина стабілізованих тампонажних розчинів на основі ЦЗС із використанням кислій золи Курахівської ДРЕС у разі В/С – 0,70–0,97 становить 1460–1530 кг/м<sup>3</sup>. Термічний інтервал застосування – 50–140 °С. Перевагами таких тампонажних матеріалів є висока стабільність тампонажного розчину, термостійкість і висока корозійна стійкість в умовах полімеральної агресії та підвищена міцність каменю як для полегшених тампонажних матеріалів. Технологічні властивості стабілізованих полегшених ЦЗС наведено в табл. 3.

**Висновки.** Розроблені полегшені термостійкі тампонажні суміші з високими експлуатаційними властивостями густиною 1460–1530 кг/м<sup>3</sup> та 1580–1650 кг/м<sup>3</sup> на основі тампонажного портландцементу ПЦТІ-100 і ПЦЗБП ПЦІ-500-Н, ШПЦ Ш/А-400 з полегшувальною домішкою – кислій золою винесення ТЕС та з використанням у рецептурах з великим водосумішевим відношенням реагенту-стабілізатора Duoviz.

Встановлено, що тампонажні розчини з полегшених тампонажних сумішей відповідають чинним ДСТУ щодо вимог до полегшених тампонажних цементів.

Термічний інтервал застосування полегшених тампонажних сумішей – 50 ÷ 140 °С.

Наукова цінність розробки полягає в проведеному підборі оптимальних рецептур нових полегшених тампонажних сумішей.

Розглянута розробка дає змогу забезпечити галузь полегшеними тампонажними матеріалами з високими експлуатаційними властивостями, що має практичну цінність. Понижена густина нових тампонажних розчинів при забезпеченні високої якості інших технологічних властивостей розчину й утвореного каменю є важливим чинником під час розмежування нафтогазоносних горизонтів на геологорозвідувальних площах і промислових родовищах у разі цементування високопроникних пластів та свердловин з аномально низькими пластовими тисками, а також під час підняття тампонажного розчину на велику висоту одним заходом.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Булатов А. И. Управление физико-механическими свойствами тампонажных систем. – М.: Недра, 1976. – 248 с.



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

3. ДСТУ Б В.2.7-88-99. Портландцементи тампонажні. Технічні умови. – К., 1999. – 18 с.

4. Керівний нормативний документ КНД 41-00832626-00 Використання цементів загальнобудівельного призначення в якості тампонажних матеріалів. Методичні вказівки. – Полтава, 2000. – 10 с.

5. Липовецький А. Я. Цементные растворы в бурении скважин/ А. Я. Липовецкий, В. С. Данюшевский. – Л.: Гостоптехиздат, 1963. – 93 с.

6. Новохатський 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.

7. Новохатський Д. Ф. Специальные тампонажные цементы//РНТС “Бурение” – 1972. – № 6 – С. 26–28.

8. Пат. 28441 Україна, МПК Е 21 В 33/138. Полегшений тампонажний матеріал/О. В. Лужаниця, С. Г. Михайленко, В. М. Орловський, Л. Б. Мартинова (Україна). – № u 2007 08569; заявлено 26.07.07; опубл. 10.12.07, Бюл. № 20.

9. Розроблення термостійких полегшених і легких тампонажних матеріалів/В. М. Орловський, А. М. Похилко, В. І. Дмитренко//Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2016. – № 3. – С. 79–84.

10. ТУ У729755.01-94. Портландцемент тампонажний полегшений для нормальних і помірних температур.

11. Emeri W. D. The ohio oil company's deep fest Palama Fild, Kern, Countri California – Drilling and Prodaction Practice/W. D. Emeri. – API, 1955. – P. 48–54.

#### REFERENCES

1. Bulatov A. S. Management of physical and mechanical properties of cement systems. – Moskva: Nedra, 1976. – 248 p. (In Russian).

2. Horskyi V. F. Grouting materials and mortars. – Chernivtsi, 2006. – 524 p. (In Ukrainian).

3. DSTU Б В.2.7-88-99. Portland cement for wells. Specifications. – Kyiv, 1999. – 18 p. (In Ukrainian).

4. Guideline normative document КНД 41-00832626-00. Usage of cements of general construction purposes as tamponage materials. Methodical instructions. – Poltava, 2000. – 10 p. (In Ukrainian).

5. Lipoveckij A. Ya., Danyushevskij V. S. Cement solutions in drilling wells. – Leningrad: Gostoptehizdat, 1963. – 93 p. (In Russian).

6. Novohatskij D. F., Voloshin V. A. Ways of improving the quality and prospects of production of cement materials to secure oil and gas wells//РНТС “Бурение” – 1978. – № 11 – P. 19–22. (In Russian).

7. Novohatskij D. F. Special oil-well cements//РНТС “Бурение” – 1972. – № 6. – P. 26–28. (In Russian).

8. Pat. 28441 Ukraine, IPC E 21 B 33/138. Lightweight cement/ O. V. Luzhanytsia, S. H. Mykhailenko, V. M. Orlovskiy, L. B. Martynova (Ukraine). – № u 2007 08569; zaiavleno 26.07.07; opubl. 10.12.07, Bull. № 20. (In Ukrainian).

9. Development of heat resistant light cement materials/ V. M. Orlovskiy, A. M. Pokhylyko, V. I. Dmytrenko//Rozvidka ta rozrobka naftovykh i hazovykh rodovyshch. – Ivano-Frankivsk: IFNTUNH, 2016. – № 3. – P. 79–84. (In Ukrainian).

10. TU У729755.01-94. Portland cement of componentpalette for normal and moderate temperatures. (In Ukrainian).

11. Emeri W. D. The ohio oil company's deep fest Palama Fild, Kern, Countri California – Drilling and Prodaction Practice/W. D. Emeri. – API, 1955. – P. 48–54.

Рукопис отримано 30.05.2018.

## ДО ВІДОМА АВТОРІВ

## МІНЕРАЛЬНІ РЕСУРСИ УКРАЇНИ

З метою подальшого підвищення наукового рейтингу журналу та його дописувачів варто звернути увагу на таке:

1. Обсяг анотації англійською мовою разом з назвою статті, ініціалами та прізвищами всіх авторів має містити мінімум 1000 знаків.

2. Вимоги до анотацій англійською мовою: інформативність (відсутність загальних слів); змістовність (відображення основного змісту статті та результатів досліджень); застосування термінології, характерної для іноземних спеціальних текстів; єдність термінології в межах анотації; відсутність повторення відомостей, що містяться в заголовку статті.

3. Прізвища авторів статей надаються в одній з прийнятих міжнародних систем транслітерації (з української — відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України № 55 від 27.01.2010 “Про впорядкування транслітерації українського алфавіту латиницею”; з російської — відповідно до “Системы транслитерации Библиотеки конгресса США”). Зазначення прізвища в різних системах транслітерації призводить до дублювання профілів (ідентифікаторів) автора в базі даних (профіль створюється автоматично в разі збігу його даних по двох публікаціях).

4. Для повного й коректного створення профілю автора дуже важливо наводити місце його роботи. Дані про публікації автора використовуються для отримання повної інформації щодо наукової діяльності організацій і загалом країни. Застосування в статті офіційної, без скорочень, назви організації англійською мовою запобігатиме втраті статей у системі аналізу організацій та авторів. Бажано вказувати в назві організації її відомство за належністю.

5. В аналітичній системі SCOPUS потрібні пристатейні списки використаної літератури латиницею. Можливості SCOPUS дають змогу проводити такі дослідження: за посиланнями оцінювати значення визнання робіт конкретних авторів, науковий рівень журналів, організацій і країн загалом, визначати актуальність наукових напрямів і проблем. Стаття з представленим списком літератури демонструє професійний кругозір та якісний рівень досліджень її авторів.

6. Правильний опис джерел, на які посилаються автори, є запорукою того, що цитовану публікацію буде враховано в процесі оцінювання наукової діяльності її авторів, а отже, й організації, регіону, країни. За цитуванням журналу визначається його науковий рівень, авторитетність тощо. Тому найважливішими складовими в бібліографічних посиланнях є прізвища авторів і назви журналів. В опис статті треба вносити всіх авторів, не скорочуючи їх кількості. Для уникнення неточностей в ідентифікації авторства й визначення персональних метрик (показників) бібліометрії авторам наукових публікацій необхідно використовувати персональні коди ORCID.

7. Для українсько- та російськомовних статей з журналів, збірників, матеріалів конференцій структура бібліографічного опису така: автори (транслітерація), переклад назви статті англійською мовою, назва джерела (транслітерація), вихідні дані, в дужках — мова оригіналу.

8. Список використаної літератури (References) для SCOPUS та інших закордонних баз даних наводиться повністю окремим блоком, повторюючи список літератури до українсько- та російськомовної частини, незалежно від того, містяться в ньому чи ні іноземні джерела. Якщо в списку є посилання на іноземні публікації, вони повністю повторюються в списку, який створюється в латинському алфавіті.

Подання рукопису статті до редакції супроводжується підписами авторів.