



УДК 622.245.42

ТАМПОНАЖНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ПОМІРНИХ І ПІДВИЩЕНИХ ТЕМПЕРАТУР, ЩО РОЗШИРЮЮТЬСЯ ПРИ ТВЕРДІННІ

В. М. Орловський,

кандидат технічних наук, доцент, кафедра обладнання нафтових і газових промислів,
Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

Розроблено тампонажні матеріали, що розширюються при твердінні, для цементування нафтових і газових свердловин в складних гірничо-геологічних умовах. Проведено підбір оптимальних рецептур розроблених композицій, вивчено кінетику їх розширення при тужавінні. Досліджено технологічні властивості тампонажних розчинів на основі нових композицій. Вивчено залежність міцнісних характеристик, а також адгезії й проникності каменю від співвідношення компонентів у тампонажній суміші. Проведено впровадження нових тампонажних матеріалів на бурових підприємствах нафтогазової галузі.

Ключові слова: доломітове борошно обпалене; розширювальний компонент; тампонажний матеріал, що розширюється при твердінні; механізм розширення; коефіцієнт розширення.

CEMENT MATERIALS FOR MODERATE AND ELEVATED TEMPERATURE, WHICH EXPANDS WHEN CURING

V. Orlovskyy,

Ph.D., Associate Professor, Department equipment oil and gas fields,
Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University

Developed cement material that expands when hardening, for cementing oil and gas wells in complex mining and geological conditions. Made selection of optimal compoundings developed compositions. The kinetics of expansion during solidification. Researched technological properties of cement mortars based on new compositions. Studied the dependence of the characteristics of strength and adhesion and permeability stone on the ratio of components in the cement mixture. Carried out implementation of new cement materials on enterprises drilling oil and gas industry.

Keywords: dolomitic flour burned; expansion component; cement material that expands when hardening; expansion mechanism; expansion coefficient.

Вступ. При цементуванні свердловин на бурових підприємствах України використовують переважно стандартний тампонажний портландцемент ПЦТІ-100, цементно-золи суміші (ЦЗС) на основі ПЦТІ-100 і золи кислотоустійливого (ЗКУ) цементу ПЦІ-500-Н та спецементи ШПЦС, ПЦТІІІ-Пол5-100, ЦТП 1,5-100, ЦТО-100, ОШЦ [1]. Проте проведені дослідження [2, 3] свідчать, що при твердінні цементний камінь з багатьох тампонажних цементів має тенденцію до деформації усадки, дія якої є негативним фактором для надійного розмежування пластів. Як правило, це є головною причиною неякісного цементування.

Наслідком неякісного цементування експлуатаційних колон є виникнення заколонних газонафтоводопроявів (ГНВП) і міжколонних перетоків. З аналізу промислових даних [4] бачимо, що від 10 до 60 % свердловин на родовищах газу в Україні мають заколонні перетоки, що свідчить про їх непридатність до експлуатації. Для ліквідації заколонних ГНВП і перетоків потрібні значні фінансові витрати. Крім того такі роботи не завжди ефективні і потребують великих витрат часу.

Заколонні перетоки, що виникають у процесі освоєння та експлуатації нафтових і газових свердловин, внаслідок неякісного це-

ментування обсадних колон, є однією з найгостріших проблем, яка спричиняє непоправні втрати нафти і газу, забруднення надр, погіршення екологічної обстановки, створює загрозу пожеж.

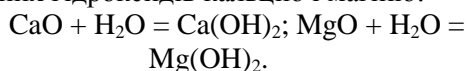
Збільшення кількості свердловин із заколонними перетоками [1] свідчить про недостатню ефективність технологій їх кріплення, що застосовуються на цей час (недосконалість технічних засобів і тампонажних матеріалів), які не запобігають виникненню каналів у цементному камені та на контакті його з породою і обсадною колоною, руйнуванню цементного кільця від різних навантажень.

Тому актуальною є проблема надання тампонажним цементам властивості розширюватись в процесі тужавіння.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Задача розроблення тампонажних матеріалів, що розширюються при тужавінні, зводиться до підбору двох або декількох компонентів цементної суміші, які в процесі гідратації при відповідних гідротермальних умовах утворюють камінь зі збільшеним об'ємом і високими експлуатаційними властивостями. При цьому необхідною умовою є розширення на початковій стадії твердіння, в період коли утворюється не жорстка (пластична) коагуляційно-кристалічна структура, здатна сприймати значну величину розширення не створюючи напружень в цементному камені.

Для розроблення цементів, що розширюються при твердінні, в будівельній галузі використовують, як правило, матеріали, в яких розширення пов'язано з утворенням комплексних солей типу еtringіту ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{CaSO}_4\cdot 31\text{H}_2\text{O}$). Недоліком таких цементів є їх недостатня термостійкість. При температурах 75°C гідросульфоалюмінати починають розкладатися [2].

Для створення тампонажних цементів, що розширюються при тужавінні, найбільш придатні в'язучі матеріали, які містять вільні оксиди кальцію чи магнію або обидва оксиди одночасно. Розширення таких систем відбувається за рахунок утворення кристалів важко-розчинних гідроксидів кальцію і магнію:



Цей процес супроводжується значним збільшенням об'єму кристалічної фази (при гідратації CaO до 112 %, при гідратації MgO до 123 %).

Перевагою таких цементів є те, що новоутворення $\text{Ca}(\text{OH})_2$ і $\text{Mg}(\text{OH})_2$ є термодинаміч-

носпійкими сполуками, не схильними до фазових перетворень [5].

Абсолютна величина розширення, яка обумовлена швидкістю гідратації залежить від температури обпалення вихідного матеріалу й дисперсності новоутворень. При зростанні температури випалювання CaCO_3 і MgCO_3 , активність вільних CaO і MgO знижується, і такі рецептури доцільно використовувати у високотемпературних свердловинах. Слід також враховувати, що MgO має меншу активність ніж CaO.

В Україні напрацьовано великий досвід застосування тампонажних сумішей, що розширюються при тужавінні при цементуванні глибоких геологорозвідувальних свердловин. Переважно цей досвід пов'язаний із застосуванням висококальцієвої золи естонських сланців.

Головна перевага золи естонських сланців полягає в тому, що вільний CaO в золі знаходиться в опаленій оболонці і тому не реагує з вологою при її зберіганні, а виявляє реакційну здатність лише в гідротермальних умовах. Крім того, температура спалювання сланців є оптимальною з точки зору максимального розширення складів на основі висококальцієвої золи.

Ефективним є застосування золи естонських сланців у суміші з ПЦТІ-100 в інтервалі температур $50 - 100^\circ\text{C}$. Розширення таких рецептур при тужавінні складає від 5 до 20 % залежно від кількості висококальцієвої золи в суміші, сорту золи та гірничо-геологічних умов у свердловині [6].

При цементуванні свердловин в геологічних підприємствах України в температурному інтервалі $50 - 150^\circ\text{C}$ впроваджувалися суміші висококальцієвої золи естонських сланців і кислої золи-виносу від спалювання кам'яного вугілля на теплових електростанціях (ТЕС). Такі композиції мають високу термостійкість і максимальне розширення каменю при тужавінні до 3,5% [7, 8].

Для цементування технічних колон на підприємствах системи геології у 80-их роках в температурному інтервалі $60 - 120^\circ\text{C}$ застосовувалися суміші відходів доломітового виробництва (частково декарбонізованого пилу від виробництва металургійного доломіту в обортових печах) і кислої золи Курахівської ДРЕС. Величина розширення такого тампонажного матеріалу сягає до 3,3 %, але він має суттєві недоліки, зокрема, низькі фізико-механічні властивості утвореного каменю [9]. Наявність у складі відходів доломітового виробництва

вільних оксидів кальцію і магнію, а також іонів SO_4^{2-} та проведені дослідження [10] дають підстави стверджувати, що розширення таких сумішей відбувається як на оксидній основі, так і за рахунок утворення трисульфатної форми гідросульфоалюмінату кальцію (етрингіту).

У зв'язку із складнощами в поставках золи естонських сланців в Україну, на початку 90-их років її впровадження припинилось. Тоді ж припинилось і впровадження відходів випалювання доломіту у зв'язку зниження їх якості.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. В Україні не вирішеною проблемою в забезпеченні бурових підприємств сучасними якісними тампонажними матеріалами залишається відсутність промислового виробництва тампонажних цементів, що розширюються при твердінні. Вирішення цієї проблеми лежить в площині проведення науково-дослідних робіт і досліджень спеціалізованих профільних лабораторій.

Постановка завдання. Цементи, які розширюються при тужавінні, є модифікованими (змішаними) в'язкими матеріалами, які складаються здебільшого з в'язучої основи і розширювального компонента. Технологія їх одержання складна, а вартість таких матеріалів, враховуючи дороговизну вихідних матеріалів, досить висока [11, 12]. До того ж на роботи з кріплення припадає значна сума (20 – 22%) від загальної вартості робіт по будівництву свердловин. Тому проводяться роботи по створенню недорогих і ефективних тампонажних матеріалів, що розширюються при твердінні.

Протягом останніх десятиріч нафтові й газові свердловини досягли великих глибин, у зв'язку з цим виникла необхідність застосування більш термостійких тампонажних цементів, що розширюються при твердінні. Сировиною для таких тампонажних матеріалів є низькоактивні мінеральні відходи або побічні продукти промисловості.

Щорічно в нашій державі утворюється велика кількість відходів доломітового виробництва та золошлакових відходів ТЕС, з яких утилізується не більше 12% [13]. Ці техногенні продукти в комбінації з в'язкими матеріалами можуть широко застосовуватись для виробництва тампонажних сумішей, які розширюються в процесі тужавіння.

Завданням даних досліджень є розроблення рецептур тампонажних матеріалів для помірних і підвищених температур, що розширюються при твердінні.

Основний матеріал і результати. У процесі виконання задач, поставлених виробничими геологічними об'єднаннями України перед науковцями галузі, колективом дослідників в Полтавському відділенні УкрДГРІ було розроблено рецептури тампонажних матеріалів для помірних і підвищених температур, що розширюються при тужавінні. Створено композиції нових тампонажних матеріалів для застосування в умовах помірних і підвищених температур. Як в'язучу основу використано тампонажний портландцемент ПЦТІ-100 та ШПЦС-120, а як розширювальний компонент – спеціальнудомішкуна основі доломітового борошна випаленого (ДМВ).

Доломітове борошно випалене є побічним продуктом виробництва металургійного доломіту, що накопичується в процесі випалювання доломітової руди в обертових печах. Для використання як розширювальної домішки ДМВ потребує домелювання в кульових млинах. Мелене ДМВ являє собою порошокподібний матеріал світло-сірого кольору з густиною $3100 - 3300 \text{ кг/м}^3$ і питомою поверхнею $270 - 380 \text{ м}^2/\text{кг}$ в залежності від фракційного складу. ДМВ має наступний хімічний склад, масових часток %: CaO – 50 – 60, MgO – 28 – 30, SiO₂ – 6 – 8, R₂O₃ (оксиди алюмінію й заліза) – не більше 5 – 9, втрати маси при випалюванні (в.п.в.) – 2,5. Гранулометричний склад меленої ДМВ за ситовим аналізом %: залишок на ситі 0,20 мм – 38,5; 0,14 мм – 42,3; 0,08 мм – 16,4; менше 0,08 мм – 2,8.

Нові тампонажні суміші досліджувались в умовах наближених до пластових.

Результати дослідження технологічних властивостей тампонажних розчинів з домішками ДМВ наведені в таблиці 1.

З аналізу даних таблиці 1 бачимо, що:

– введення ДМВ призводить до незначного зменшення густини тампонажних розчинів на основі ПЦТ і ШПЦС, що пояснюється більш низькою густиною домішки порівняно з із стандартним цементом;

– при введенні ДМВ збільшується розтічність, що є наслідком меншої питомої поверхні ДМО і, відповідно, більш низької водопотреби матеріалу;

– величина розширення тампонажних сумішей збільшується при із збільшенням вмісту ДМВ від 10 до 20 % за масою. Подальше збільшення вмісту ДМВ недоцільне у зв'язку із зниженням фізико-механічних властивостей каменю;

– збільшення об'єму у тампонажних сумішей на основі ШПЦІ-100 переважає аналогічні показники для ШПЦС-120;

– температура в межах 75 – 110°C суттєво не впливає на абсолютну величину розширення, а велике збільшення об'єму при 75°C пояснюється відсутністю зовнішнього тиску.

Таблиця 1 – Властивості тампонажних розчинів з домішками розширювального компоненту ДМВ

Склад суміші, мас. част., %			В/С	Розтічність, м	Густина, кг/м ³	Відносне розширення, %		
ШПЦІ-100	ШПЦС-120	ДМВ				t=75 °C P=0,1 МПа	t=100 °C P=40 МПа	t=140 °C P=60 МПа
100	–	–	0,50	0,190	1870	–	–	–
90	–	10	0,50	0,200	1830	5,7	2,9	–
80	–	20	0,50	0,205	1815	8,5	5,7	–
–	90	10	0,48	0,210	1760	2,2	4,6	0,6
–	80	20	0,48	0,215	1740	5,0	2,1	1,7

У процесі дослідження технологічних властивостей тампонажного каменю його формування здійснювалось при умовах, максимально наближених до пластових. Автоклавування зразків виконано в установці АУ-1-71-ІЕ.

Інтегральною характеристикою, яка визначає придатність тампонажного матеріалу для розмежування пластів вважається механічна міцність тампонажного каменю. Механічна міцність каменю нестабільна в часі величина і залежить від ряду факторів, основними з яких є хіміко-мінералогічний склад, питома поверхня в'язучого матеріалу, водоцементне відношення, наявність хімічних домішок та умови твердіння, переважно температура.

Визначення границь міцності каменю при стисненні проводилось на пресі ПСУ-10.

Проникність тампонажного каменю для рідин і газів є одним з основних показників, який визначає можливість використання його як ізолюючого матеріалу в свердловині.

Проникність залежить від ряду факторів, серед яких найбільш важливими є структура тампонажного матеріалу, водоцементне відношення, умови (температура, тиск) і терміни твердіння. Суттєво впливає хімічний склад вод, які контактують з тампонажним матеріалом, що тужавіє та затвердівшим каменем.

Сьогодні не існує визначеної критичної величини для проникності, проте деякі дослідники вважають, що проникність тампонажного

каменю 2 – 4 мД (мкм²х10⁻³) не може спричинити обводнення свердловин і перетоки газу.

Визначення газопроникності зразків каменю здійснювалось на установці ГК-5.

З практики відомо, що однією з основних причин обводнення свердловин є нещільний контакт цементного каменю з обсадними трубами і гірськими породами. Підвищити якість контакту можна шляхом використання тампонажних цементів, що розширюються при твердінні.

Якість зчеплення тампонажного каменю з обмежувальними поверхнями залежить від багатьох факторів, але в першу чергу визначається складом тампонажної суміші і температурою середовища. Тиск також впливає на якість зчеплення.

Міцність контакту зразків каменю з обмежувальною металевою поверхнею (адгезія) оцінювалась зчепленням затверділого тампонажного матеріалу з металевим стрижнем як дотична напруга зсуву, при якій порушується контакт “цемент-метал” під час витискування стрижня. Для вивчення адгезії використовувалася гідравлічний прес ПСУ-10 і спеціальна приставка. Величина сили витискування фіксувалася автоматично. Адгезію τ_a в МПа розраховували за формулою:

$$\tau_a = \frac{0,1P}{\pi D l}$$

де P – витісняюча сила у кГ,

D – зовнішній діаметр металевого циліндричного стрижня, м,

l – довжина робочої частини металевого циліндричного стрижня, м.

Для оцінки адгезії використовувалось середнє арифметичне значення результатів випробування декількох зразків.

Відносна величина лінійного розширення тампонажних сумішей (Δh), у відсотках, визначалась за формулою:

$$\Delta h = \frac{h_1 - h}{h} \cdot 100\%$$

де h – висота зразка тампонажного матеріалу до початку розширення, м;

h_1 – висота зразка тампонажного матеріалу після закінчення розширення, м;

$h_1 - h$ – абсолютне розширення зразка, м.

Результати дослідження технологічних властивостей тампонажного каменю з розширювальною домішкою ДМВ наведені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Міцність, адгезія і газопроникність тампонажного каменю з домішками ДМО

Склад суміші, мас. част., %			В/С	Міцність, МПа, через 1 добу			Адгезія, МПа, через 1 добу			Газопроникність, мкм ² ×10 ⁻³ , через 1 добу		
ШПЦ-100	ШПЦ-120	ДМВ		t = 75 °C	t = 100 °C	t = 150 °C	t = 75 °C P = 0,1 МПа	t = 100 °C P = 40 МПа	t = 140 °C P = 60 МПа	t = 75 °C P = 0,1 МПа	t = 100 °C P = 40 МПа	t = 150 °C P = 60 МПа
10	–	–	0,50	11,4	20,0	–	2,77	2,91	–	1,00	0,90	–
90	–	10	0,50	8,4	14,4	–	4,10	4,60	–	0,90	0,82	–
80	–	20	0,50	5,4	9,4	–	5,00	5,50	–	0,85	0,79	–
–	100	–	0,47	–	12,5	20,8	–	1,40	1,90	–	1,50	1,11
–	90	10	0,47	–	10,4	15,7	–	2,90	3,30	–	0,97	0,91
–	80	20	0,47	–	6,9	7,9	–	–	–	–	–	–

З аналізу даних таблиці 2 бачимо, що:

– тампонажний камінь з домішкою ДМВ через 1 добу твердіння набирає достатню міцність для надійного розмежування продуктивних горизонтів, хоча її абсолютна величина дещо знижується внаслідок структурних перетворень.

– з підвищенням температури величина зчеплення тампонажного каменю підвищується, а газопроникність знижується;

– абсолютні величини адгезії у каменю з домішками ДМВ у 1,2 – 1,5 рази вищі ніж у стандартних цементів, особливо це характерно для зразків ШПЦС-120.

Приготування нових тампонажних сумішей може здійснюватись на бурових майданчиках, шляхом змішування тампонажного цементу і домішки перетарюванням через цементозмішувачі машини протягом трьох циклів.

Висновки. У процесі дослідження нових тампонажних матеріалів, що розширюються при твердінні проведено підбір оптимальних рецептур розроблених композицій, вивчено кінетику їх розширення при тужавінні. Вивчено залежність міцнісних характеристик, а також адгезії й проникності каменю від співвідношення компонентів у тампонажній суміші. В

цьому полягає наукова цінність запропонованої розробки.

Застосування нових тампонажних матеріалів, що розширюються при твердінні дає змогу підвищити якість розмежування пластів у нафтових і газових свердловинах, що має практичну цінність.

Результати роботи мають практичне застосування при кріпленні глибоких свердловин в складних гірничо-геологічних умовах на геологорозвідувальних площах і промислових родовищах України. Нові тампонажні матеріали, що розширюються при твердінні, успішно впроваджені на бурових підприємствах БУ “Укрбургаз” ПАТ “Укргазвидобування” при цементуванні газових і газоконденсатних свердловин.

Література

1. Сучасний стан і перспективи розвитку виробництва тампонажних матеріалів в Україні / В.Ф. Горський, П.В. Горський, Ю.Ф. Шевчук [та ін.] // Нафтова і газова промисловість. – 2000. – № 5. – С. 19 – 20.
2. Булатов А.И. Тампонажные материалы / А.И. Булатов, В.С. Данюшевский. – М.: Недра, 1987. – 280 с.

3. Аналіз причин неякісного розмежування пластів в умовах Дніпровсько-Донецької западини / Р.В. Бандур, О.В. Лужаниця, С.Г. Михайленко [та ін.] // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2003. – № 3. – С.127 – 130.
4. Інструкція щодо визначення умов використання газових свердловин з наявністю міжколонного тиску, пробурених на шельфі Чорного і Азовського морів/ затв. Держнафтогазпром України, ВАТ "Український нафтогазовий інститут", ДВП "Чорноморнафтогаз" 1997. – [Термін дії не встановлений]. – К.: Держнафтогазпром України, 1997. – 11 с. – (Нормативний документ).
5. Фридман В.М. Изыскание составов и исследование свойств цементов для цементирования глубоких нефтяных и газовых скважин: автореф. дис. на соискание научной степени канд. техн. наук: спец. 05.15.10 "Бурение скважин" / В.М. Фридман. – М.: 1971. – 28 с.
6. А. с. 730952 СССР, МКИ Е 21 В/138. Тампонажный раствор / Б.В. Крых,
7. В.И. Герц, Р.В. Асмолова (СССР). – № 2159992/22-03; заявл. 25.07.75; опубл. 30.04.80, Бюл. № 16.
8. Бесклинкерные расширяющиеся тампонажные смеси на базе основной и кислой золы: КНД 41-00032626-195-90. – [Введ. впер- вые 01.12.90]. – Полтава: Полтавское отделение УкрНИГРИ, 1990. – 11 с. – (Нормативный документ).
9. Орловський В.М. Тампонажні матеріали, що розширюються при твердінні [монографія]/ Орловський В.М. – Полтава: 2016. – 129 с.
10. Бесклинкерные тампонажные материалы на базе отходов доломитового производства и золы-унос твердых топлив: РД 41 УССР 157-84.– [Введ. впервые 15.05.84]. – Полтава: Полтавское отделение УкрНИГРИ, 1984. – 11 с. – (Нормативный документ).
11. Керцман А.З. Магнезиальные тампонажные вяжущие для глубоких скважин / А.З. Керцман, Н.Н. Круглицкий, А.С. Серяков [и др.] // Техника и технология геологоразведочных работ; организация производства: О.И. – Москва, ВИЭМС: 1984. – 48 с.
12. Михайлов В.В. Расширяющийся цемент и его применение в строительстве / В.В. Михайлов, Б.Г. Скрамтаев, Э.З. Юдович // Цемент. – 1949. – № 12. – С. 4.
13. Кравченко И.В. Расширяющиеся цементы / Кравченко И.В. – М.: Госстройиздат, 1962. – С. 34.
14. Дмитриев А.И. Проблемы использования техногенных материалов при производстве цемента / А.И. Дмитриев, В.Е. Каушанский // Цемент. – 1988. – № 9. – С. 2 – 3.

Разработаны тампонажные материалы, которые расширяются при твердении, для цементирования нефтяных и газовых скважин в сложных горно-геологических условиях. Проведен подбор оптимальных рецептур разработанных композиций, изучена кинетика их расширения при отвердевании. Исследованы технологические свойства тампонажных растворов на основе новых композиций. Изучена зависимость прочностных характеристик, а также адгезии и проницаемости камня от соотношения компонентов в тампонажных смесях. Проведено внедрение новых тампонажных материалов на буровых предприятиях нефтегазовой отрасли Украины.

Ключевые слова: доломитовая мука обожженная; расширяющий компонент; тампонажный материал, расширяющийся при твердении; механизм расширения; коэффициент расширения.

Відомості про автора:

Орловський Віталій Миколайович, кандидат технічних наук, доцент кафедри обладнання нафтових і газових промислів, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Україна, 36011, м. Полтава, Першотравневий проспект, 24.

E-mail: svaroh13@ukr.net

ORCID: №0000-0002-8749-5354