

УДК 622.245.4

Вибір складу армованих тампонажних розчинів

Коцкулич Я. С., Гриманюк В. І.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, Україна

Поступила в редакцію 01.03.11, принята к печати 18.03.11

Анотація

Подано результати лабораторних досліджень впливу штучних армуючих домішок на властивості цементного розчину та міцнісні характеристики цементного каменя. В якості армуючих домішок було обрано мікрволастоніт, базальтову фібру та поліпропіленову фібру. Проведено аналіз результатів експериментів та обрано напрямок подальших досліджень.

Ключові слова: цементний розчин, цементний камінь, межа міцності, волластоніт, фібра.

Тампонажний камінь, розміщений між обсадною колоною і стінкою свердловини, повинен забезпечувати герметичність кільцевого простору протягом усього терміну її експлуатації. Герметичність кільцевого простору свердловини залежить від багатьох чинників, а саме від повноти заміщення промивальної рідини цементним розчином у заколонному просторі, властивостей цементного розчину, здатності цементного кільця чинити опір навантаженням, що діють на обсадну колону в процесі її будівництва та експлуатації та інші. З плином часу, навантаження на цементний камінь в свердловині змінюються під час опресування обсадних колон, у разі зміни густини рідини, що заповнює свердловину, під час проведення перфорації та інших технологічних операцій, що призводить до пошкодження цементного каменя з утворенням в ньому мікротріщини. Ці мікротріщини візуально виявити неможливо, однак вони створюють передумови для утворення каналів міграції флюїду.

В Україні нараховується 61,7 % нафтових та 24,5% газових свердловин вік яких становить понад 20 років [1], що вимагає підвищеної уваги до технічного стану свердловин, розробки та впровадження нових технологій, спрямованих на забезпечення герметичності заколонного простору свердловини.

Результати лабораторних досліджень [2] показують, що міцність тампонажного каменя залежить від виду навантаження. У разі стискування вона найбільша, менша у разі вигину ($\sigma_{зг} = (0,25-0,5) \cdot \sigma_{ст}$) і найменша у разі розтягування ($\sigma_{роз} = (0,1-0,15) \cdot \sigma_{ст}$). Головною метою армування тампонажного каменя є наближення міцності при стискуванні до міцності при розтягуванні.

В даній статті приводяться результати досліджень, спрямованих на підвищення терміну надійної експлуатації цементного каменя за рахунок покращення його деформаційних характеристик, зокрема з розробки рецептури армованих тампонажних цементних розчинів.

У практиці для армування тампонажного каменя при цементуванні свердловин використовуються три типи армуючих домішок: органічні, мінеральні та штучні.

Армуючі домішки органічного походження мають низьку адгезію з матрицею тампонажного каменя [2], низьку механічну міцність та хімічну активність взаємодії між волокнами та матрицею тампонажного каменя, тому широкого використання в практиці цементування не знайшли.

Мінеральною домішкою, що використовується для армування цементу є хризотил-азбест. В промисловості випускається сім сортів цього мінерального волокна. Дослідженнями авторів [3] встановлено, що додавання до цементу 1,5...3% азбесту 6-го сорту та 1,5...3% хлористого кальцію при водоцементному відношенні 0,5–0,55 дозволяє покращити деформаційні властивості тампонажного каменя і знизити тріщиноутворення в фільтраційній кірці бурового розчину.

До штучних відносяться армуючі домішки у вигляді кристалів гідросилікатів кальцію типу ксонатліта і тоберморіта, а також безводні ниткоподібні кристали типу волластоніта діаметром від

0,1 до 50 мкм та довжиною від 1 до 500 мкм. До цього ж типу армуючих домішок відносять кварцові, базальтові, цирконові волокна та поліпропіленову фібру.

Автором статті проведено лабораторні дослідження впливу штучних армуючих домішок на міцнісні характеристики сформованого цементного каменя. Для дослідження були обрані найбільш розповсюджені в будівельній промисловості типи армуючих домішок, а саме – три види волластоніту, три види базальтової фібри та поліпропіленова фібра.

Волласоніт – це природний силікат кальцію з молекулярною формулою CaSiO_3 . Його хімічний склад наступний: $\text{CaO} - 45...48\%$, $\text{SiO}_2 - 50...53\%$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 - 0,05...0,2\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 - 0,1...0,3\%$, $\text{MgO} - 0,4...1\%$. Фізичні властивості мінералу: густина – 2900 кг/м^3 , твердість за шкалою Мооса – $4,5...5$, показник рН – $9,5...10$. Сьогодні волластоніт широко використовується в США, Китаї та інших країнах як замітник шкідливого для здоров'я канцерогенного азбесту. Родовища волластоніту розробляються в Китаї, Індії, Франції та Росії.

В сучасній будівельній практиці волластоніт використовується як добавка до сухих будівельних сумішей різного призначення. Волластоніт підвищує водоутримуючу здатність суміші, забезпечує високу адгезію до поверхонь та стійкість в корозійному середовищі.

Для лабораторних досліджень було обрано три найбільш розповсюджені типи волластоніту: МВ-05-97, МВ-10-97, МВ-30-96. Перша цифра в шифрі назви вказує середній діаметр частинки, друга – білизну.

Дослідження проводились з використанням бездобавочного цементу типу ПЦТ-Д0-50 та водо-цементним відношенням В/Ц=0,5. При додаванні добавки значення водо-сумішевого відношення змінювалось відповідно до кількості введеної в розчин добавки.

Для оцінки тенденції руйнування цементного каменя виходили з того, що:

$$\sigma_{\text{ст}} > \sigma_{\text{зг}} > \sigma_{\text{р}}$$

де $\sigma_{\text{ст}}$, $\sigma_{\text{зг}}$, $\sigma_{\text{р}}$ – відповідно межа міцності тампонажного каменя на стиск, згин та розтяг.

Оскільки стискаючі та розтягуючі напруження є граничними з точки зору міцності, було прийнято рішення обрати за основний критерій оцінки міцнісних характеристик тампонажного каменя критерій руйнівної здатності (КРЗ), тобто відношення величини границі міцності на стиск до границі міцності на розтяг.

Користуючись числовим значенням критерія руйнівної здатності, необхідно вибрати тампонажні матеріали з його мінімальним значенням.

Дослідження властивостей цементного розчину і каменя проводились у відповідності до ДСТУ БВ.2.7.-86-99 [4]. Окрім цих величин, визначались такі властивості цементного розчину, як розтічність, фільтрація та густина. Результати досліджень наведені в таблицях 1, 2

Таблиця 1 – Властивості цементного розчину з добавкою волластоніту

Тип добавки	Вміст добавки, %	Густина порошку, кг/м^3	Густина розчину, кг/м^3	Розтічність, см	Фільтрація, $\text{см}^3/30 \text{ хв}$
Без добавки	0	3100 ÷ 3200	1860	22	185,16
МВ-05-97	3	2900	1870	20,5	173,21
	7		1880	17	126,49
	10		1900	16	110,56
	15		1920	15	70,35
МВ-10-97	3		1865	19,5	168,03
	7		1880	17	113,90
	10		1910	14,5	107,65
	15		1920	13,5	101,06
МВ-30-96	3		1875	21	185,16
	7		1890	19,8	165,60
	10		1910	16,2	164,20
	15		1930	14,3	162,00

Таблиця 2 – Зміна КРЗ тампонажного каменю в часі.

Тип добавки	Вміст добавки, %	Час зберігання зразків до моменту випробування, діб								Середнє значення КРЗ
		2		7		14		28		
		$\frac{\sigma_{cm}}{\sigma_p}$ МПа	КРЗ	$\frac{\sigma_{cm}}{\sigma_p}$ МПа	КРЗ	$\frac{\sigma_{cm}}{\sigma_p}$ МПа	КРЗ	$\frac{\sigma_{cm}}{\sigma_p}$ МПа	КРЗ	
Без добавок	0	$\frac{1,59}{0,18}$	8,83	$\frac{2,16}{0,21}$	10,3	$\frac{2,23}{0,22}$	13,55	$\frac{2,84}{0,17}$	16,7	12,3
МВ-05-97	3	$\frac{1,56}{0,16}$	9,73	$\frac{2,25}{0,19}$	11,67	$\frac{2,33}{0,22}$	10,60	$\frac{2,47}{0,21}$	11,77	10,9
	7	$\frac{1,52}{0,13}$	11,6	$\frac{2,53}{0,21}$	12,06	$\frac{2,33}{0,18}$	12,95	$\frac{2,31}{0,26}$	8,91	11,4
	10	$\frac{1,64}{0,15}$	10,95	$\frac{3,29}{0,25}$	13,16	$\frac{2,77}{0,20}$	13,86	$\frac{2,39}{0,25}$	9,55	11,9
	15	$\frac{1,78}{0,17}$	10,49	$\frac{2,94}{0,23}$	12,8	$\frac{3,04}{0,23}$	13,2	$\frac{2,72}{0,26}$	10,45	11,7
МВ-10-97	3	$\frac{1,47}{0,16}$	9,16	$\frac{2,40}{0,20}$	12,00	$\frac{2,34}{0,22}$	10,62	$\frac{3,18}{0,24}$	13,27	11,3
	7	$\frac{1,47}{0,19}$	7,62	$\frac{2,66}{0,18}$	14,78	$\frac{2,33}{0,18}$	12,95	$\frac{2,68}{0,25}$	10,71	11,5
	10	$\frac{1,28}{0,16}$	8,03	$\frac{2,59}{0,19}$	13,63	$\frac{2,84}{0,21}$	13,56	$\frac{2,33}{0,23}$	10,15	11,3
	15	$\frac{1,19}{0,15}$	7,89	$\frac{2,47}{0,18}$	13,7	$\frac{2,61}{0,19}$	13,75	$\frac{2,86}{0,29}$	9,87	11,3
МВ-30-96	3	$\frac{0,88}{0,1}$	8,78	$\frac{1,60}{0,18}$	8,88	$\frac{2,31}{0,18}$	12,86	$\frac{2,57}{0,19}$	13,5	11,0
	7	$\frac{0,84}{0,1}$	8,35	$\frac{2,18}{0,18}$	12,10	$\frac{2,09}{0,22}$	9,48	$\frac{2,96}{0,21}$	14,11	11,0
	10	$\frac{1,08}{0,13}$	8,29	$\frac{2,10}{0,20}$	10,48	$\frac{2,71}{0,27}$	10,05	$\frac{2,67}{0,24}$	11,13	9,99
	15	$\frac{1,21}{0,15}$	8,04	$\frac{2,00}{0,22}$	9,09	$\frac{2,27}{0,24}$	9,45	$\frac{2,83}{0,26}$	10,9	9,4

Аналогічні дослідження проводились з додаванням у портландцемент базальтової фібри. Цей продукт виготовляють методом екструзії – протискуванням розплавленої базальтової маси через отвори певного діаметру. Базальт — це готовий природний матеріал для виробництва волокон. Він містить (по масі) 45–50% SiO₂, 10-20% Al₂O₃ і до 20% FeO+Fe₂O₃ і MgO. Базальтова фібра володіє високою природною міцністю, стійкістю до впливу агресивного середовища, електроізоляційними властивостями, є природною та екологічно чистою сировиною. Базальтові волокна є найбільш оптимальними по показнику відношення ціни та якості порівнюючи з скловолокном та вуглецевим волокном.

Для лабораторних досліджень було обрано три види базальтової фібри : ВМБ 40.Р6, ВМБ 40.Р12, ВМБ 50.Р12. Перша літера в назві вказує на діаметр волокна у мікронах, друга – на довжину фібри в міліметрах.

Результати досліджень приведені в таблиці 3 та таблиці 4

Таблиця 3 – Властивості цементного розчину з добавкою базальтової фібри.

Тип добавки	Вміст добавки, %	Густина порошку, кг/м ³	Густина розчину, ρ _{ЦР} , кг/м ³	Розтічність, см	Фільтрація см ³ /30 хв
Без добавок	0	3100 ÷ 3200	1860	22	185,16
ВМБ 40.Р6	3	2800	1870	22	163,30
	5		1875	21,3	152,33
	7		1880	20,3	101,06
ВМБ 40.Р12	3		1865	22,3	192,15
	5		1880	22,2	175,62
	7		1885	21,7	151,19
ВМБ 50.Р12	3		1870	22,2	192,15
	5		1880	22,0	190,91
	7		1890	22,0	185,16

Таблиця 4 – Зміна КРЗ тампонажного каменю в часі.

Тип добавки	Вміст добавки, %	Час зберігання зразків до моменту випробування, діб								Середнє Значення КРЗ
		2		7		14		28		
		$\frac{\sigma_{cm}}{\sigma_p}$ МПа	КРЗ	$\frac{\sigma_{cm}}{\sigma_p}$ МПа	КРЗ	$\frac{\sigma_{cm}}{\sigma_p}$ МПа	КРЗ	$\frac{\sigma_{cm}}{\sigma_p}$ МПа	КРЗ	
Без добавок	0	$\frac{1,59}{0,18}$	8,83	$\frac{2,16}{0,21}$	10,3	$\frac{2,23}{0,22}$	13,55	$\frac{2,84}{0,17}$	16,7	12,3
ВМБ 40.Р6	3	$\frac{0,99}{0,15}$	6,62	$\frac{1,82}{0,17}$	10,73	$\frac{2,42}{0,29}$	8,33	$\frac{2,74}{0,34}$	8,05	8,4
	5	$\frac{0,92}{0,13}$	7,06	$\frac{2,03}{0,21}$	9,65	$\frac{2,43}{0,31}$	7,84	$\frac{2,97}{0,36}$	8,26	8,2
	7	$\frac{0,75}{0,1}$	7,45	$\frac{1,98}{0,26}$	7,6	$\frac{2,28}{0,33}$	6,92	$\frac{3,31}{0,38}$	8,7	8,0
ВМБ 40.Р12	3	$\frac{1,18}{0,16}$	7,37	$\frac{2,08}{0,21}$	9,9	$\frac{2,61}{0,27}$	9,66	$\frac{3,10}{0,25}$	12,4	9,9
	5	$\frac{1,24}{0,19}$	6,55	$\frac{2,62}{0,29}$	9,03	$\frac{2,98}{0,35}$	8,52	$\frac{3,78}{0,32}$	11,8	8,98
	7	$\frac{1,16}{0,28}$	4,15	$\frac{2,45}{0,32}$	7,55	$\frac{2,69}{0,31}$	8,69	$\frac{3,05}{0,43}$	7,1	6,9
ВМБ 50.Р12	3	$\frac{0,94}{0,13}$	7,20	$\frac{2,09}{0,23}$	9,09	$\frac{2,74}{0,24}$	11,4	$\frac{3,62}{0,32}$	11,3	9,7
	5	$\frac{1,03}{0,16}$	6,45	$\frac{2,36}{0,29}$	8,13	$\frac{2,80}{0,31}$	9,03	$\frac{3,19}{0,36}$	8,87	8,12
	7	$\frac{0,98}{0,19}$	5,15	$\frac{2,16}{0,31}$	6,96	$\frac{2,51}{0,29}$	8,67	$\frac{3,43}{0,33}$	10,4	7,8

Коливання значень КРЗ в таблицях 3 та 4 вказує, що міцність тампонажного каменю на стиск у часі зростає інтенсивніше ніж на розтяг.

Порівняння результатів армування цементного каменю з даними інших авторів [4] вказує, що після семи діб тужавіння та водоцементному відношенні В/Ц=0,5 КРЗ 3-ох процентної концентрації армуючої домішки хризотил-азбесту (КРЗ = 7,2) приблизно рівний КРЗ 7-ми процентної концентрації базальтової фібри марки ВМБ 50.Р12 (КРЗ = 6,92).

Поліпропіленова фібра (ППФ) виготовляється методом екструзії аналогічно базальтовій фібри. Довжина волокна фібри становить 12 мм, а його діаметр — 10 мкм. Результати досліджень представлені в таблиці 4 та на рисунку 6.

Таблиця 4 – Властивості цементного розчину з добавкою поліпропіленової фібри

Тип добавки	Вміст добавки, %	Густина порошку, кг/м ³	Густина розчину, кг/м ³	Розтічність, см	Фільтрація, см ³ /30 хв
Без добавок	0	3100 ÷ 3200	1860	22	185,16
ППФ	0,2	910	1860	19,2	175,32
	0,5		1850	15,6	168,03
	0,7		1850	13,2	160,52
	1		1840	10,9	152,91

Таблиця 5 – Зміна КРЗ тампонажного каменю в часі.

Тип добавки	Вміст добавки, %	Час зберігання зразків до моменту випробування, діб								Середнє значення КРЗ
		2		7		14		28		
		$\frac{\sigma_{cm}}{\sigma_p}$ МПа	КРЗ	$\frac{\sigma_{cm}}{\sigma_p}$ МПа	КРЗ	$\frac{\sigma_{cm}}{\sigma_p}$ МПа	КРЗ	$\frac{\sigma_{cm}}{\sigma_p}$ МПа	КРЗ	
Без добавки	0	$\frac{1,59}{0,18}$	8,83	$\frac{2,16}{0,21}$	10,3	$\frac{2,23}{0,22}$	13,55	$\frac{2,84}{0,17}$	16,7	12,3
Поліпропіленова фібра	0,2	$\frac{1,45}{0,20}$	7,23	$\frac{2,73}{0,30}$	9,11	$\frac{3,03}{0,27}$	11,21	$\frac{2,63}{0,24}$	10,98	9,6
	0,5	$\frac{1,35}{0,20}$	6,73	$\frac{2,59}{0,32}$	8,1	$\frac{2,60}{0,26}$	10,01	$\frac{1,86}{0,22}$	8,45	8,3
	0,7	$\frac{1,06}{0,21}$	5,03	$\frac{2,29}{0,35}$	6,53	$\frac{2,07}{0,28}$	7,41	$\frac{2,08}{0,3}$	6,94	6,5
	1	$\frac{0,71}{0,22}$	3,21	$\frac{1,57}{0,38}$	4,13	$\frac{1,38}{0,30}$	4,6	$\frac{1,19}{0,33}$	3,6	3,9

Висновки

1. Добавка мікроволастоніту практично не викликає ефект армування тампонажного каменя і не може бути рекомендована для практичного використання.
2. Результати досліджень властивостей цементного розчину і каменю з добавкою базальтових волокон марки ВМБ-40.Р12 більше 5% та поліпропіленової фібри 0,5...1% підтверджують ефективність їх використання в якості армуючих домішок. Однак, при добавленні ППФ, більше 0.5% розтічність цементного розчину знижується і виходить за допустимі межі.
3. Подальші дослідження рецептур армованих тампонажних розчинів необхідно проводити з добавкою ППФ та ВМБ-40.Р12 і пластифікаторів для підвищення їх розтічності.

Библиографический список

1. Тершак Б.А. Стан та перспектива забезпечення надійності за колонного простору кріплення свердловин на пізній стадії розробки родовищ України [Текст] / Б.А. Тершак, Я.С. Коцкулич, М.В. Сенюшкович // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. - 2007. - №2(23). - С. 123-126
2. Булатов А.И. Тампонажные материалы [Текст] / А.И. Булатов, В.С. Данюшевский. - М.: Недра, 1982. - 280с.
3. Колесник В.И. Совершенствование методов повышения герметичности за колонного пространства скважин подземных хранилищ [Текст] : автореф. дис. канд. техн. наук : спец. 05.15.06 «Бурение скважин» / В.И. Колесник Ивано-Франковский национальный технический ун-т нефти и газа. — Ивано-Франковск, 1990. — 18 с
4. Цементи тампонажні. Методи випробувань. [Текст] : ДСТУ БВ.2.7.-86-99 (ГОСТ 26789.1-96) – К.: Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України, 1999. – 22 с.
5. Булатов А.И. Тампонажные материалы и технология цементирования скважин [Текст] : учеб. для техникумов – 4-е изд., перераб. и доп./ А.И. Булатов –М. : Недра, 1991. – 336 с.

© Коцкулич Я. С., Гриманюк В. І., 2011.

Анотація

Предоставлено результаты лабораторных исследований влияния искусственных армирующих добавок на свойства цементного раствора и прочностные характеристики цементного камня. В качестве армирующих добавок было избрано мироволластонит, базальтовую фибру и полипропиленовую фибру. Выполнено анализ результатов экспериментов и выбрано направление для дальнейших исследований.

Ключові слова: цементный раствор, цементный камень, предел прочности, волластонит, фибра.

Abstract

In the article authors has been given the results of laboratory research of how synthetic reinforcing additives effect on slurry and cement stone property. Wollastonite, basaltic fibre and fibre of polypropylene where used as synthetic reinforcing additives. It has been given a conclusion about results of experiments and it has been chosen the direction of further research tests.

Keywords: cement slurry, cement stone, limit of strength, wollastonite, fibre.