



Скорик В.В.



Руденко І.І.



Тургунов Т.Ш.

Скорик В.В., аспірант, молодший науковий співробітник,
Руденко І.І., кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,
Науково-дослідний інститут в'язучих речовин і матеріалів ім. В.Д. Глуховського (НДІВМ) КНУБА, м. Київ,
Тургунов Т.Ш., керівник науково-технологічного департаменту,
ТОВ «УкрСКС» групи компаній «Сервіс Кріплення Свердловин», м. Київ

РЕОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЛУЖНОГО ТАМПОНАЖНОГО РОЗЧИНУ ТА ОСОБЛИВОСТІ ЇХ РЕГУЛЮВАННЯ

Наведено результати досліджень регулювання реологічних властивостей лужного тампонажного розчину шляхом використання моделей зміни опору течії в свердловині в залежності від швидкості її цементування.

Аналіз стану проблеми

Особливістю використання тампонажних розчинів в термобаричних умовах (підвищений тиск та температура) є висока імовірність виникнення проблеми невідповідності між часом застосування тампонажного розчину і технологічним часом цементування свердловини, що обумовлено зміною заданих реологічних властивостей тампонажного розчину до завершального етапу цементування свердловини (з досягненням планового рівня підйому).

Іншими словами, фізичний стан тампонажного розчину має бути наближеним до властивостей ньютонівської рідини і характеризуватися сталими значеннями структурної в'язкості, не залежно від швидкості зсуву протягом заданого часу [1]. При такій умові буровий розчин повністю заміщується тампонажним, що в свою чергу забезпечує якісне кріплення свердловини. Але, в реальних умовах такого роду тампонажних розчинів не існує, їх реологічні властивості залежать від термобаричних умов і змінюються в часі [2].

Потенціальні можливості для отримання тампонажного розчину з регульованими властивостями відкриваються при використанні розроблених науковою школою професора В.Д. Глуховського лужних в'язучих речовин, склад яких відрізняється наявністю активних сполук лужних металів, які створюють високолузжне середовище і сприяють при гідратації утворенню ряду з низькоосновними гідросилікатами кальцію новоутворень у вигляді лужних і лужно-лужноземельних гідроалюмосилікатів [3, 4, 5, 6]. Одним з типів лужних цементів за класифікацією ДСТУ Б В.2.7-181:2009 є шлаколузжні цементи. Склад продуктів гідратації шлаколузжних цементів визначається мінералогічним і хімічним складом шлаків, природою лужного компоненту, умовами тверднення і представлений, насамперед, тоберморітоподібними низькоосновними гідросилікатами кальцію, гідрогранатами перемінного складу, кремнієвою кислотою, лужними гідроалюмосилікатами типу цеолітів і слюд, а також змішаними лужно-лужноземельними гідроалюмосилікатами [7, 8, 9]. Такий склад продуктів визначає фізико-механічні характеристики та довговічність штучного каменю отриманого

на основі шлаколузжних цементів, що створює передумови для використання такого цементу як основи тампонажних розчинів, що працюють в перемінних термобаричних умовах.

Було показано принципову можливість одержання тампонажних розчинів на основі лужних цементів (на прикладі шлаколузжних) для цементування нафтогазових свердловин [10]. Роботою [11] виявлено вплив виду та вмісту компонентів лужного цементу на реологічні та фізико-механічні властивості тампонажного розчину і показана можливість отримання ефективного полегшеного лужного тампонажного розчину (ЛТР), що характеризується низькими значеннями водовідділення і високими фізико-механічними характеристиками при високих значеннях В/Ц (від 1,1 до 1,4) [12].

З метою регулювання структуроутворення такої високообводненої суспензії, яким є тампонажний розчин, виникає необхідність модифікації властивостей ЛТР добавками поверхнево-активних речовин (ПАР).

Особливістю модифікації полегшених тампонажних розчинів є те, що в такій суспензії хімічна добавка не повинна виконувати водоредуруючу функцію, оскільки значення В/Ц є сталим зважаючи на забезпечення заданої густини. Основними необхідними ефектами дії хімічної добавки в цій системі є сповільнення тужавлення і подальше прискорення тверднення. Відповідно, роль ПАР повинна акцентуватись на сповільненні структуроутворення цементної суспензії (подовженні тривалості індукційного періоду) до необхідного моменту і сприяти подальшому прискоренню структуроутворення та підвищенню початкової міцності тампонажного розчину.

Відомо, що використання ПАР в лужних цементних системах ускладнюється через нестабільність їх молекулярної структури у високолузжному середовищі [13, 14]. При цьому спирт, виходячи з механізму дії на процеси гідратації в'язучих речовин, є органічними сполуками, які утворюють нерозчинні або малорозчинні, слабодисоційовані сполуки і таким чином суттєво впливають на швидкість гідратації [15]. Одноатомні спирти можуть розглядатись як прості пластифі-

катори, але їх ефективність далека від синтезованих технічних пластифікованих добавок. При цьому речовини із класу багатоатомних спиртів є ефективними для пластифікації і збереження консистенції цементних систем з $pH > 13$ [16].

Серед комплексу фізичних властивостей різних мікрогетерогенних і грубодисперсних систем, що перебувають у вигляді технічних суспензій, в тому числі для тампонажних розчинів, реологічні (структурно-механічні) властивості є найважливішими. За зміною цих властивостей можна передбачити поведінку суспензій в найрізноманітніших технологічних процесах і енергетичних полях, вони є зовнішнім вираженням внутрішньої сутності об'єктів, тобто характеризують агрегатний стан, дисперсність, будову, структуру і вид взаємодії всередині продукту [17].

З технологічної точки зору, цементування свердловини є складною технологічною операцією від якості проведення якої залежить не лише продуктивність свердловини, але також безпека та термін її експлуатації. Однією з умов якісного кріплення свердловини є повне заповнення затрубного простору тампонажним розчином. При цьому для ефективного витіснення промивальної рідини тампонажним розчином є забезпечення турбулентного режиму течії висхідного потоку. Крім того, збільшення глибини буріння при зменшенні діаметра свердловин призвело до зростання тисків в процесі цементування свердловини. При цьому досягнення турбулентного режиму течії висхідного потоку за рахунок підвищення швидкості його руху не можливе, оскільки виникає небезпека гідророзриву пласта і міграція тампонажного розчину в утворені тріщини. Турбулентність цементного потоку може бути досягнута не лише прискоренням швидкості руху тампонажного розчину, а й шляхом зміни реологічних властивостей останнього. Необхідним є управління двома технологічними параметрами – тиском і швидкістю закачування, які пов'язані між собою і дзеркально відображають поведінку тампонажного розчину в свердловині, тобто як змінюється його текучість (рух в трубному, і затрубному просторі) та проходить заміщення бурового розчину. Моделювання в лабораторних умовах цих технологічних характеристик є складною технологічною задачею, рішення якої є можливим при виявленні залежності зміни напруження відносно швидкості деформації.

Тампонажний розчин в залежності від певних умов можна розглядати як ньютонівську рідину, основною відмінністю якої є те, що при сталій температурі її в'язкість залишається постійною не залежно від швидкості зсуву [18].

При побудові залежності напруження зсуву відносно швидкості зсуву в декартових координатах цементна суспензія може розглядатися як бінгамівське в'язкопластичне тіло [17, 19, 20] і при швидкості зсуву рівною нулю дає пряму з додатнім (позитивним) значенням напруження зсуву. Після ініціалізації течії існує лінійна залежність між напруженням зсуву, швидкістю зсуву і пластичною в'язкістю, що описується рівнянням Шведова-Бінгама:

$$\tau = \tau_s + \eta^* \cdot \gamma' \quad (1),$$

де τ_s – граничне напруження зсуву (Па),
 η^* – пластична (структурна) в'язкість (Па·с),
 γ' – швидкість зсуву (с⁻¹).

З метою визначення ефектів дії ПАР у вигляді багатоатомних спиртів на реологію полегшеного ЛТР (високообводненої суспензії) наведено схему (рис. 1) поведінки моделей тіл ($\tau_s > 0$), що характеризуються різними типами течії після її ініціалізації [21, 22].

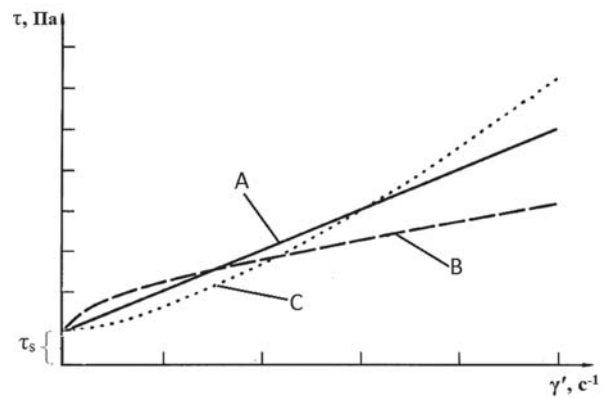


Рис. 1. Реологічні криві:
 крива А – пластична течія;
 крива В – псевдопластична течія;
 крива С – дилатантна течія

Значення τ_s відображає границю текучості (напруження течії). Якщо значення $\tau_s = 0$, то рівняння (1) перетворюється в найпростішу модель течії ньютонівської рідини, натомість коли значення $\tau_s > 0$, то рівняння перетворюється в модель пластичної течії бінгамівської рідини, для якої характерним є стала пропорційність між напруженням зсуву і швидкістю деформації при умові $\tau > \tau_s$ (рис. 1, крива А).

Криві В і С описують течію інших типів. Крива В (рис. 1) описує псевдопластичний характер течії, коли напруження зсуву зростає повільніше ніж швидкість зсуву. В цьому випадку в'язкість змінюється відповідно до швидкості деформації. Фізичне тлумачення псевдопластичності полягає в тому, що із збільшенням швидкості зсуву молекули рідини поступово орієнтуються уздовж напрямлення потоку. При цьому в'язкість буде зменшуватись з підвищенням швидкості зсуву до тих пір, поки зберігається можливість подальшого орієнтування, а потім залежність стає лінійною [23, 24, 25, 26].

Крива С (рис. 1) характеризує тип течії у випадку коли напруження зсуву збільшується скоріше його швидкості, а в'язкість збільшується із збільшенням швидкості зсуву. Такий дилатантний тип течії вперше описав Рейнольдс [24], яким зроблено припущення, що такі суспензії в стані спокою мають мінімальний об'єм прошарків між твердими частинками і рідкої фази вистачає тільки для заповнення прошарків. Коли такі суспензії піддаються зсуву з невеликою швидкістю деформації – рідина служить змазкою, зменшується тертя між твердими частинками, при цьому значення напруження зсуву невеликі. При великих швидкостях зсуву щільна упаковка частинок порушується і матеріал розбухає, збільшуючись в об'ємі. Відповідно, розміри рідинних прошарків збільшуються. В утвореній структурі суспензії недостатньо рідини для змазки твердих частинок при терті і діючі напруження стають значно більшими [24].

Взаємозв'язок залежності напруження зсуву від швидкості зсуву тампонажного розчину в процесі цементування свердловини можна розглядати як модель зміни реологічних (технологічних) властивостей такої суспензії.

Висока ступінь витіснення завдяки регульованій швидкості руху тампонажного розчину є запорукою якісного цементування свердловини. Крім того, необхідність регулювання швидкості закачування пов'язана з проходженням тампонажним розчином складних ділянок свердловини (муфт, з'єднань, центраторів, геологічних ускладнених горизонтів тощо) і з відповідними ускладненнями завдяки зміні тиску закачування.

В трубному і затрубному просторі свердловини в процесі її цементування важливим є контролювати зміну

реологічних властивостей. В протилежному випадку знижується ступінь заміщення бурового розчину тампонажним та підвищується гідродинамічний тиск при цементуванні. Тому збереження консистенції тампонажного розчину і відповідність реологічних властивостей тампонажного розчину до бінгамівської рідини (стабільність значень в'язкості), в т.ч. при змінних температурах по висоті свердловини, – є необхідною умовою для якісного і безпечного цементування свердловин.

Попередніми дослідженнями виявлено можливість регулювання реологічних властивостей ЛТР шляхом їх модифікації багатоатомними спиртами, використання яких визначає зниження значень пластичної в'язкості, статичного та динамічного напруження зсуву в інтервалі температур 22...75 °С [27].

Метою наведених досліджень є вирішення технологічної задачі регулювання реологічних властивостей ЛТР шляхом використання моделей зміни опору течії в свердловині в залежності від швидкості її цементування при використанні багатоатомних спиртів як модифікуючих добавок.

Матеріали і методи

Гранульований доменний шлак виробництва ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» (далі по тексту – шлак) згідно з ДСТУ Б В.2.7-261:2011 було використано в якості алюмосилікатного компоненту лужного цементу, питома поверхня 450 м²/кг. Хімічний склад шлаку наведено в табл. 1.

Дифракційна характеристика шлаку, наведена на рис. 2, свідчить про переважно скловидну структуру речовини (вміст склофази 61,5 %) та присутність кристалічної фази.

При помелі шлаку використовували гідрофобізатор XIAMETER(R) MNX-1107 EU FLUID (полігідридсилоксанове масло), що сприяє інтенсифікації помелу цементних складових, запобігає сорбції вологи з повітря і обумовлює збереження властивостей цементу.

В ролі лужних компонентів цементу в сухому порошкоподібному стані використано:

- соду кальциновану (СК) технічну (Na₂CO₃) згідно з ГОСТ 5100-85;
- метасилікат натрію (МС) 5-ти водний (Na₂O · SiO₂ · 5H₂O) згідно з ТУ 6-18-161-82.

В якості мінеральних добавок використовували наступні. Добавка алюмосилікатного складу для забезпечення водоутримуючої здатності ЛТР – глинопорошок бентонітовий згідно з ТУ У 14.2-00223941-007:2010 виробництва ПАТ «Дашуківські бентоніти» (марка ПБА-18, вихід глинистого розчину з ефективною в'язкістю 20 МПа·с – 18 м³/т). Добавка для прискорення тверднення ЛТР – гашене вапно згідно з ДСТУ Б В.2.7-90-99 виробник «CALMIT» (Словаччина).

Для управління реологічними властивостями ЛТР використано добавки багатоатомних спиртів (поліолів):

- сорбітол (C₆H₁₄O₆) – 6-атомний спирт у вигляді порошку;
- 100%-ний розчин гліцерину (C₃H₈O₃) – 3-атомний спирт;
- 100%-ний розчин етиленгліколю (C₂H₆O₂) – 2-атомний спирт.

Поліолі було введено з водою замішування в розрахунок на масу лужного цементу системи «шлак – бентоніт – гашене вапно».

Для зниження повітровтягнення використовували піногасник «Pegamin Defoam 50PE» в порошкоподібному стані, який додавали до ЛТР шляхом перемішування його з лужним цементом.

Склад і вихідні нормовані властивості ЛТР наведено в табл. 2.

Таблиця 1.

Експериментально-статистичні моделі водопотреби та міцності фібробетону на малоклінкерному шлакопортландцементі

Вміст оксидів, мас. %										M _o
SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	S	
37,86	0,27	5,34	0,76	0,10	5,32	46,18	1,72	0,40	0,05	1,21

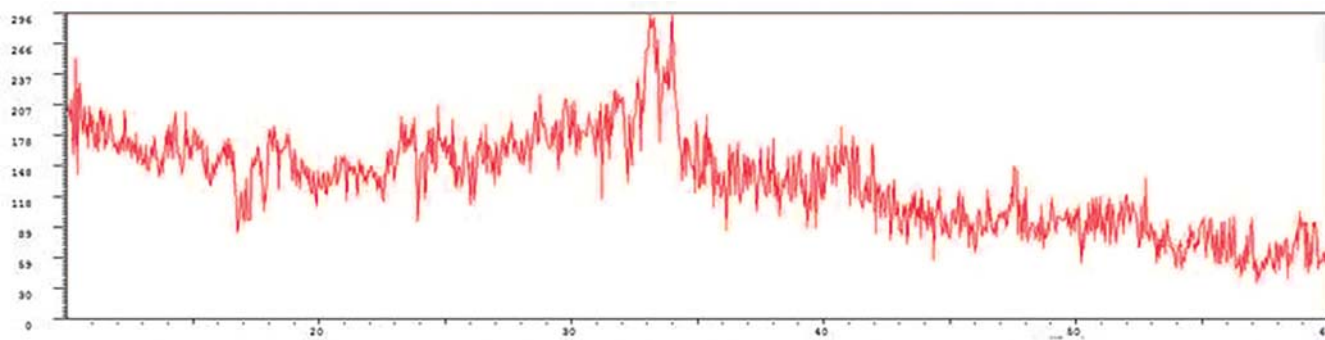


Рис. 2. Дифракційна характеристика гранульованого доменного шлаку Криворізького металургійного комбінату ВАТ «Арселор Миттал»

Таблиця 2.

Склад і властивості ЛТР

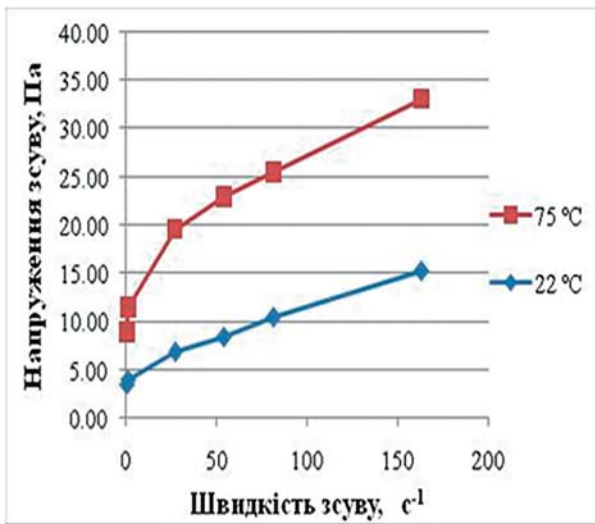
Склад					Властивості				
В'язуча речовина, %					поліол, %	піногасник, %	В/Ц	густина, г/см ³	розплив конуса, мм
Шлак	мінеральна добавка		лужний компонент						
	бентонітовий глинопорошок	гашене вапно	кальцин. сода	метасилікат натрію					
86,00	6,00	8,00	1,67	3,33	1,00-3,00	0,20	1,25	1,4	>250

Показники швидкості зсуву та напруження зсуву тампонажного розчину визначали за допомогою віскозиметра «Fann 35 SA» за методикою ISO 10426-2. Попереднє підігрівання (кондиціонування) тампонажного розчину здійснювали за допомогою атмосферного консистометра «Chandler 1200» при неперервному перемішуванні (150 об/хв) на протязі 40 хв до заданої температури (22 °C та 75 °C) і витримування при цій температурі ще протягом 10 хв. Вибір таких значень температури пояснюється максимальним наближенням до реальних умов по глибині свердловини при цементуванні.

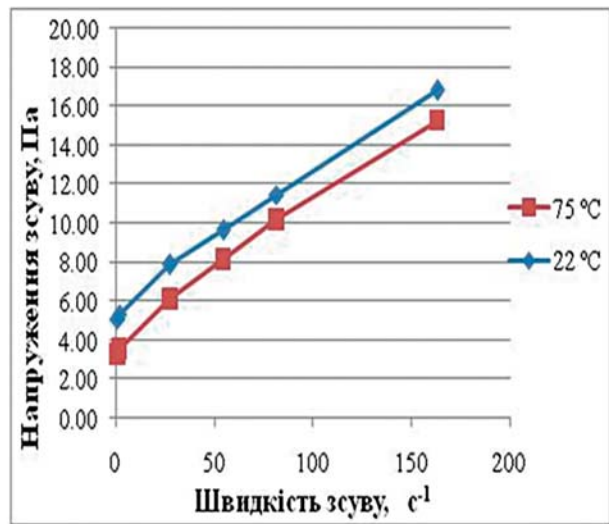
Результати і їх обговорення

Аналіз отриманих результатів (рис. 3) свідчить про те, що ЛТР при модифікації сорбітолом веде себе як бінгамівська рідина здатна до в'язкопластичної течії (рис 1, крива А): при $\gamma' = 0$ напруження зсуву дорівнює значенню

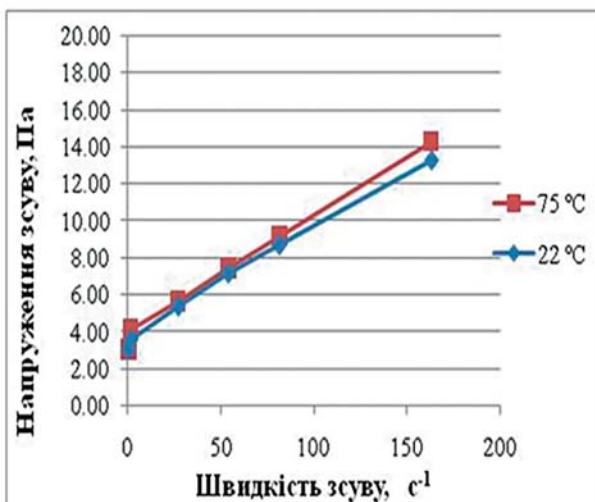
початкового напруження (τ_s). При цьому значення τ_s зменшується із збільшенням вмісту сорбітолу в складі тампонажного розчину. Слід відмітити, що характер залежності напруження зсуву від швидкості зсуву ЛТР модифікованого сорбітолом практично не змінюється при варіюванні температури. При цьому для контрольного складу криві відповідних залежностей значно відрізняються – при підвищенні температури з 22 °C до 75 °C напруження зсуву збільшується інтенсивніше ніж швидкість зсуву. Це свідчить про те, що при малих напруженнях, що не перевищують міцність просторової структури, спостерігається дуже повільна течія суспензії без помітного руйнування. Таку течію можна вважати повзучістю, яка відповідає невимірно вищій в'язкості рідини ніж в'язкість тіла з гранично зруйнованою структурою. За таких умов ЛТР без добавки сорбітолу при закачуванні в свердловину втрапив би свої технологічні властивості.



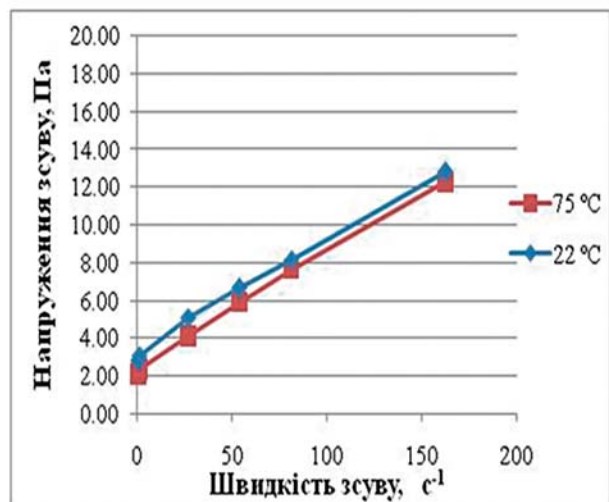
а)



б)



в)



г)

Рис. 3. Залежність напруження зсуву від швидкості зсуву ЛТР при використанні сорбітолу: а) контрольний склад; б) 1 %; в) 2 %; г) 3 %.

Натомість при використанні добавки гліцерину ЛТР веде себе як бінгамівська рідина лише при температурі 22 °С (рис. 4). При підвищенні температури до 75 °С характер кривої течії змінюється і відповідає псевдопластичному. В цьому випадку стале значення в'язкості відсутнє, воно змінюється відповідно до швидкості зсуву. При збільшенні витрати спирту ця закономірність змінюється, але в недостатній мірі, щоб вважати, що рео-

логічні властивості ЛТР достатньо наближені до бінгамівської рідини. Цей ефект може призвести до того, що тампонажний розчин втрапить здатність до прокачування при зменшенні ступеня заміщення бурового розчину.

Добавка етиленгліколю забезпечує ще менший ефект і практично не здатна змінити псевдопластичний характер течії ЛТР при $t = 75\text{ }^{\circ}\text{C}$ навіть при збільшенні її витрати до 3 % (рис. 5).

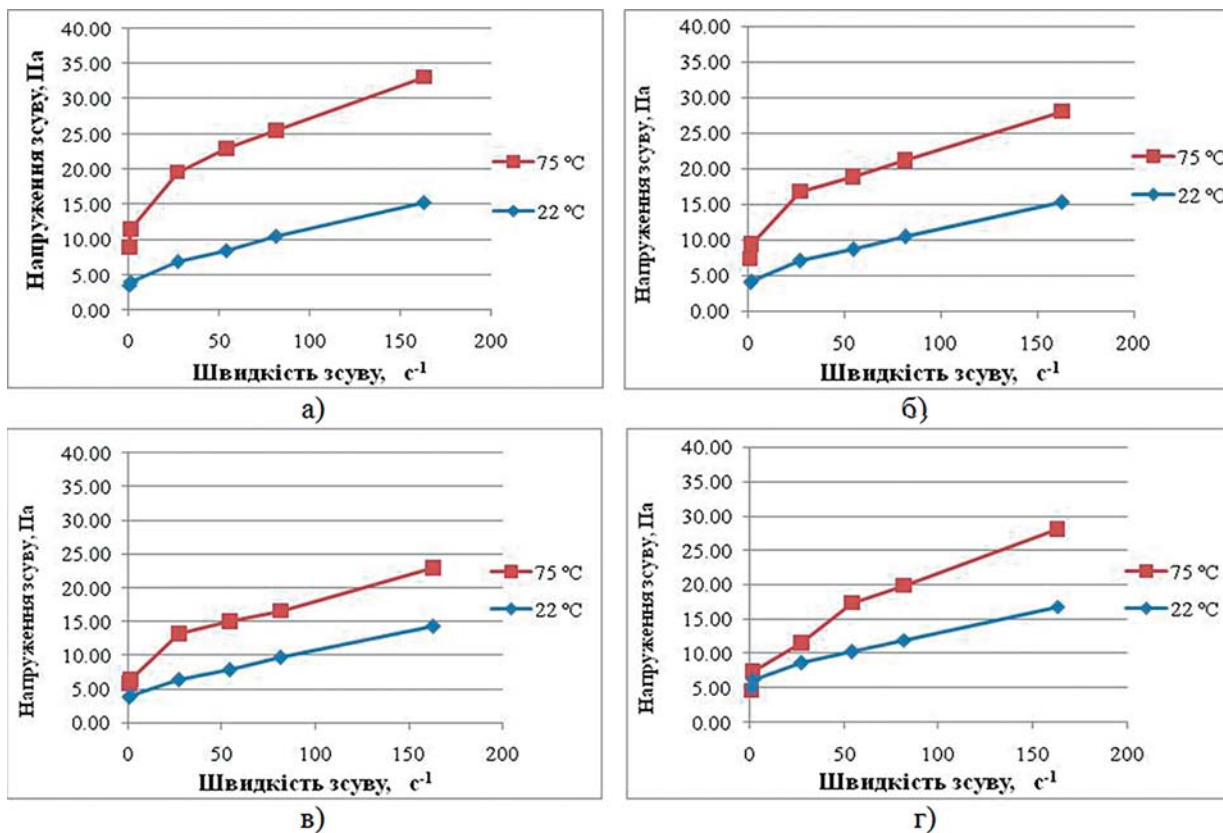


Рис. 4. Залежність напруження зсуву від швидкості зсуву ЛТР при використанні гліцерину: а) контрольний склад; б) 1 %; в) 2 %; г) 3 %.

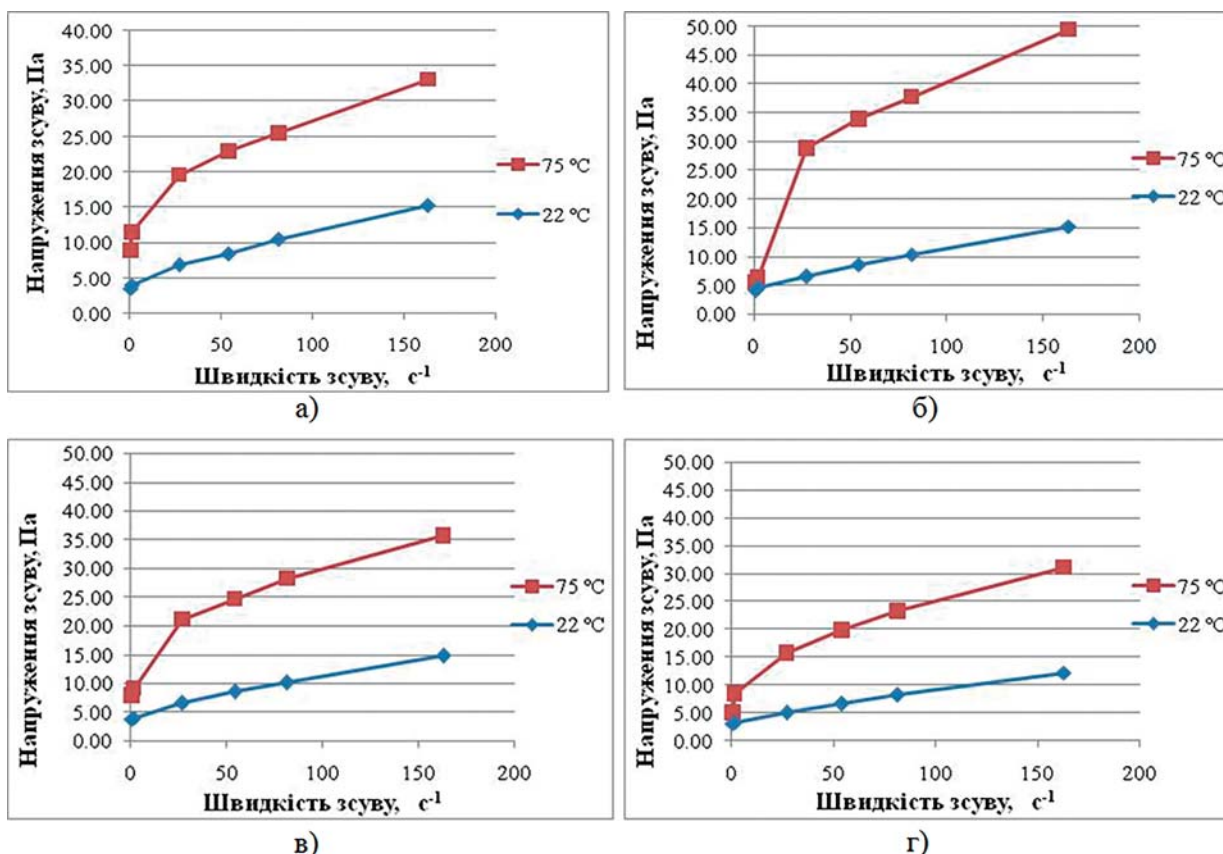


Рис. 5. Залежність напруження зсуву від швидкості зсуву ЛТР при використанні етиленгліколю: а) контрольний склад; б) 1 %; в) 2 %; г) 3 %.

Таким чином, при модифікації ЛТР сорбітолом, залежність напруження зсуву від швидкості зсуву є лінійною, що свідчить про мінімальну тиксотропність (низьку границю текучості) такої суспензії не залежно від витрати спирту та температури. Однак при використанні гліцерину та етиленгліколю вказана залежність змінюється на параболічну, що свідчить про значне збільшення тиксотропності даної системи та відповідність псевдопластичному характеру течії. Ця тенденція проявляється тим в більшому ступені, чим слабкіші дифільні властивості поліолу і менше проявляється його роль як ПАР.

Висновки

1. Технологічна задача регулювання реологічних властивостей лужного тампонажного розчину може вирішуватися шляхом використання моделей зміни опору течії в свердловині в залежності від швидкості її цементування, побудованими у вигляді функцій напруження зсуву тампонажного розчину від швидкості його деформації.

2. Характер течії ЛТР може відповідати реологічним особливостям або псевдопластичної, або бінгамівської рідини в залежності від використаної модифікуючої добавки ПАР.

3. Добавка ПАР у вигляді 6-атомного спирту сорбітолу забезпечує стабілізацію пластичної в'язкості лужного тампонажного розчину при зміні швидкості деформації, тобто підвищує подібність реологічних властивостей ЛТР до бінгамівської рідини, не залежно від швидкості зсуву у діапазоні температур від 22 °С до 75 °С.

Література:

1. Ребиндер П.А. Поверхносные явления в дисперсных системах. Физико-химическая механика. – М.: Изд-во Наука Москва. 1979. – 378 с.
2. Булатов А.И., Макаренко П.П., Проселков Ю.М. Буровые промывочные и тампонажные растворы: Учеб. пособие для вузов. – М.: ОАО «Издательство «Недра», 1999. – 424 с.
3. Глуховський В.Д. Грунтосиликаты. – Киев: Госстройиздат, 1959. – 126 с.
4. Глуховський В.Д. Грунтосиликаты, их свойства, технология изготовления и области применения: Автореф. дис. д-ра техн. наук. – Киев, 1965.
5. Глуховський В.Д., Кривенко П.В., Старчук В.Н. и др. Шлакощелочные бетоны на мелкозернистых заполнителях. – Киев: Вища школа, 1981. – 223 с.
6. Гоц В.И. Влияние температурного фактора на процессы структурообразования и свойства шлакощелочных бетонов: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Киев, 1983. – 24 с.
7. Кривенко П.В. Специальные шлако-щелочные цементы. – К.: Будівельник 1992. – 191 с.
8. Ростовская Г.С. Исследование грунтосиликатных бетонов на основе вяжущих, содержащих глинистые компоненты: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Киев, 1968. – 20 с.
9. Рунова Р.Ф. Исследование автоклавных щелочно-щелочноземельных алюмосиликатных материалов: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Киев, 1972. – 22 с.
10. Азимов А.А. Особенности твердения шлакощелочных песчаных бетонов и тампонажных растворов при повышенных температурах и давлениях [Текст]: Автореф. дис. канд. техн. наук. / КНУСА. – Киев, 1983. – 24 с.
11. Маматкулов А.М. Полегшені шлаколужні тампонажні розчини [Текст]: Автореф. дис. канд. техн. наук. / КНУБА. – Київ, 2000. – 19 с.
12. ДСТУ Б В.2.7-88-99 (ГОСТ 1581-96) Портландцементи тампонажні. Технічні умови.
13. Krivenko P.V., Guziy S.G., Petropavlovskii O.N., Gelevera A.G. Use of the admixture «RELAXOL» for improving rheological properties and workability of the slag alkaline concrete // X Int. Conference Durable and Safe Road Pavements, Kielce, 11-12 May, 2004 Poland. Warszawa: Road and Bridge Research institute.- pp. 83-89.
14. Krivenko P.V., Guziy S.G., Petropavlovskii O.N. Effect of admixtures of the «RELAXOL» type on physical-mechanical properties of the slag alkaline cements and concretes // Chemical and mineral additives in concret /Edit. by A.Usheroev-Marshak. Kharkov: «Color», 2005.-pp. 207-214.
15. Ратинов В.Б., Розенберг Т.И. Добавки в бетон. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Строймиздат, 1989. – 188 с.
16. Collepardi M., Grossi G., Pellizon Birelli M., Ventura G. Influence of D-sorbitol on the properties of binders to immobilize acid nuclear wastes / 8th CANMET/ACI Int. Conf. on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete, Sorrento (Italy), 2006. – P.525-531.
17. Крих Г. Б. Особливості застосування реологічних моделей неньютонівських рідин / Г. Б. Крих // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 2007. – № 581 : Теплоенергетика. Інженерія доквілля. Автоматизація. – С. 71–82.
18. Куприенко П.И. Технические суспензии. Регулирование коллоидно-химических и технологических свойств. «Наукова думка», 2000. – С. 287 с.
19. Nehdi M., Rahman M.-A., Estimating rheological of cement pastes using various rheological models for different test geometry, gap and surface friction.. Cement and Concrete Research 34 (2004) 1993-2007. Department of Civil and environmental Engineering, The University of Western Ontario, 1151 Richmond Street, London, Ontario, Canada N6A 5B9 Received 29 May 2003; accepted 20 February 2004.
20. Vikan H., Justnes H., Winnefeld F., Figi R. Correlating cement characteristics with rheology of paste. Cement and Concrete Research 37 (2007) 1502-1511. Received 28 November 2005; accepted 16 August 2007.
21. ISO 10426-2:2003 Международный стандарт. Промышленность нефтяная и газовая. Цементы и материалы для цементирования скважин. Часть 1. Испытания цементов.
22. Физико-химическая механика тампонажных растворов [Текст] / под общ. ред. д-ра хим. наук Н.Н. Круглицкого ; АН УССР. Ин-т коллоидной химии и химии воды. – Киев : Наук. думка, 1974. – 288 с.
23. Рейнер М. Деформация и течение. Введение в реологию: Пер. со 2-го англ. изд. – М.: Гостоптехиздат, 1963. – 314 с.
24. Трапезников А. А., Петржик Г.Г., Коротина Т. И. Реологические и диэлектрические свойства дилатантных и тиксотропных систем // Докл. АН СССР. – 1967. – 176, № 2. – С. 387-381.
25. Северс Э. Т. Реология полимеров. – М.: Химия, 1966. – 198 с.
26. Уилкинсон У. Л. Неньютоновские жидкости. – М.: Мир, 1964. – 216 с.
27. Скорик В.В., Руденко І.І., Мазурок П.С., Скочеляс А.Б., Тургунов Т.Ш. Реологічні властивості лужного тампонажного розчину та особливості їх регулювання / Журнал «Строительные материалы и изделия». – Київ, 2014. – №4. – С. 10-12.