

**В.С. Терлига, Х.С. Соболев, Н.І. Петровська, М.Б. Ковальчук<sup>1</sup>**

Національний університет “Львівська політехніка”,

кафедра автомобільних шляхів,

<sup>1</sup>Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

## **ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МОДИФІКОВАНИХ ПОЛЕГШЕНИХ ТАМПОНАЖНИХ СУМІШЕЙ**

© Терлига В.С., Соболев Х.С., Петровська Н.І., Ковальчук М.Б., 2013

**Досліджено вплив комплексу добавок різного функціонального призначення на механічні властивості полегшеного тампонажного розчину. Запропоновано склад розширених полегшених тампонажних матеріалів з використанням низькорекційного вапна.**

**Ключові слова:** полегшені тампонажні суміші, модуль пружності, розширення, призма міцність, деформації усадження.

**Influence of different functional purpose additives complex on mechanical properties of light-weight plugging mortar was investigated. Prescriptions of expanding light-weight plugging mortars with usage of low reactive lime were made.**

**Key words:** light-weight oil-well mixes, elastic modulus, expansion, prism strength, shrinkage strain.

### **Постановка проблеми**

Для більшості родовищ вуглеводнів України характерні складні гірничо-геологічні умови, нестаціонарний, бародинамічний стан покладів, порушена система розробки, велика (до 98 %) обводненість продукції, диференціювання термобаричних умов за розрізом, що у поєднанні з інтенсифікацією припливу пластових флюїдів, призводить до критичного гідродинамічного стану свердловин. За таких обставин для забезпечення експлуатаційної надійності свердловин як інженерних споруд необхідні тампонажні матеріали з певними структурно-реологічними та фізико-механічними властивостями – підвищеною міцністю, тріщиностійкістю, стійкістю до деформацій, корозійною стійкістю. Зокрема, для свердловин з аномально низькими пластовими тисками (АНПТ) та тисками гідророзриву гірських порід потрібні високоякісні полегшені тампонажні суміші. Відомі тампонажні матеріали не відповідають таким вимогам. Широке застосування безусадкових чи розширених полегшених в'язучих матеріалів стримується недостатньою вивченістю процесів структуроутворення за підвищених термобаричних умов, характерних для нафтогазових родовищ України [1].

### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Поширеними методами зменшення густини тампонажних сумішей є заміна частини клінкерної складової полегшувальними добавками та збільшення вмісту у них [2]. Досвід практичного застосування таких матеріалів свідчить, що використання лише відомих полегшувальних добавок як природного (опока, бентонітові, монтморилонітові, палигорськітові глини, цеолітизований туф), так і техногенного (доменний гранульований шлак, зола винесення) походження [3] не забезпечує необхідної якості сумішей. Їх головними недоліками є високі водовідділення і водовіддача, незадовільні міцність та седиментаційна стійкість, що призводить до розшарування матеріалу у за колонному просторі та формування неоднорідного за механічними властивостями цементного кільця. Крім того, для подібних складів характерними є висока контракція та значні усадкові деформації. Негативна зміна (зменшення) об'єму тампонажного розчину і каменю з одночасним зневодненням і розтріскуванням глинистої кірки, яка знаходиться на стінках свердловини, може призвести до зниження герметичності контакту тампонажного каменю із свердловиною і обсадною колоною [4].

Забезпечення регламентованого рівня технологічних та експлуатаційно-технічних властивостей тампонажних матеріалів для цементування свердловин в ускладнених гірничо-геологічних умовах вимагає нових підходів до вирішення цієї проблеми. Для одержання високофункціональних полегшених тампонажних сумішей використовують метод фізико-хімічного модифікування за допомогою системи мінеральних та хімічних добавок. Так, регулювання структурно-реологічних властивостей розчинових сумішей досягається за рахунок пластифікуючих та стабілізуючих добавок, використання яких у комплексі з антиспінувачами покращує порову структуру цементного каменю та збільшує його міцність [4, 5]. Застосування за потреби розширеного компонента дає змогу отримати полегшені розширені тампонажні суміші. Серед відомих розширених добавок найпоширенішими є добавки, які забезпечують портландцементу сульфоалюмінатне розширення: додаткова кількість двоводного або півводного гіпсу, суміш гіпсу з високоглиноземистим шлаком, алюмінати кальцію тощо [6]. Істотним недоліком такого складу є їхня незадовільна термостійкість, що унеможливило їх використання під час тампонування свердловин за підвищених температур, особливо, з огляду на їхню низьку корозійну стійкість [7]. Це зумовлює пошук інших шляхів отримання розширених тампонажних розчинів, зокрема, використання розширених добавок на оксидній основі [6].

**Мета роботи** – розробити та дослідити полегшені тампонажні суміші з добавками-модифікаторами з покращеними експлуатаційно-технічними характеристиками для цементування нафтових і газових свердловин.

#### Методи досліджень і матеріали

Полегшені тампонажні суміші одержували на основі портландцементу ПЦ І-500-Н виробництва ПАТ «Волиньцемент», що характеризується високим вмістом  $C_3S$  і відповідно високою ранньою міцністю.

Як мінеральні полегшувальні компоненти використано цеоліт Сокирницького родовища та метакаолін, що виготовляється з каолінів Глухівського родовища.

Для модифікування полегшених тампонажних сумішей були використані: стабілізуюча добавка на основі ефірів целюлози, пластифікатор полікарбосилатового типу, антиспінувач та функціональні поліпропіленові волокна (ФПВ). Як розширну добавку використано низькорекційне негашене вапно.

Властивості тампонажного матеріалу досліджували за чинними стандартами та загальноприйнятими методиками.

#### Результати досліджень

У попередніх роботах був розроблений склад полегшених тампонажних цементів, які відповідають вимогам ДСТУ Б В.2.7-88-99. Оптимальним за структурно-реологічними властивостями і ранньою міцністю був цемент, який містив як полегшувальні добавки 20 мас. % цеоліту та 10 мас. % – метакаоліну. Склад і властивості тампонажної суміші, одержаної на його основі, наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Склад та структурно-реологічні властивості полегшеної тампонажної суміші

Склад, мас. %			В/Т	Густина, г/см <sup>3</sup>	Розтічність, мм	Водовідділення, мл
ПЦ	Метакаолін	Цеоліт				
70	10	20	0,67	1,61	205	1

Міцність тампонажного розчину через дві доби тверднення за температури 75 °С становила 4,20 МПа на розтяг за вигину та 13,15 МПа – за стиску. Модифікування вихідної тампонажної суміші додаванням комплексу різних за механізмом дії і призначенням матеріалів: пластифікатора, стабілізатора, антиспінувача та функціональних поліпропіленових волокон дає змогу збільшити розтічність тампонажної суміші до 229–233 мл, виключити водовідділення, збільшити ранню міцність на розтяг за вигину до 5,40 МПа і до 14,25 МПа – за стиску (табл. 2). Зміна контракції

у часі має класичний характер (контракція у початковий період зростає різко, а далі – рівномірно), що дуже важливо для нормального формування тампонажного каменю у заколонному просторі.

За період тривалої роботи на тампонажний камінь у свердловині діють інтенсивні знакозмінні динамічні навантаження від бурового та нафтопромислового обладнання, перфораційно-вибухових робіт тощо. Як наслідок, ізоляційне цементне кільце з часом не тільки втрачає герметичність, але інколи й повністю руйнується. Особливо актуальною ця проблема є під час спорудження похило-скерованих та горизонтальних свердловин, де великою кількістю є спуско-підймальні операції. Обертний рух бурильних труб призводить до появи на внутрішній поверхні ізоляційного екрана пошкоджень різноманітної форми, які у подальшому стають джерелом концентрації напружень та крихкого руйнування.

Таблиця 2

### Міцність та деформативні властивості полегшених тампонажних сумішей

Властивості	Час тверднення, діб	Тампонажні суміші	
		без добавок	модифіковані поліфункціональними добавками
Міцність розчину:			
– на розтяг за вигину, МПа	2	4,20	5,40
– за тиску, МПа	2	13,15	14,25
Призмova міцність, МПа	28	16,00	19,00
Модуль пружності, ГПа	28	6,28	5,23
Коефіцієнт Пуассона	28	0,15	0,20

Типовим прикладом такої ситуації може бути похило-скерована свердловина № 552 ГС Долинського родовища. Під час заглиблення під експлуатаційну колону із попередньо зацементованим хвостовиком разом із шламом зі свердловини виносило великі (5–7 см) уламки цементного каменю завтовшки 9–11 мм, що, очевидно, зумовлено ексцентричним розташуванням обсадної колони у свердловині, коли труби спираються на муфти. При цьому на зовнішній поверхні зразків, сформованих у заколонному просторі, спостерігаються характерні сліди взаємодії каменю з обсадною колоною (рис. 1).

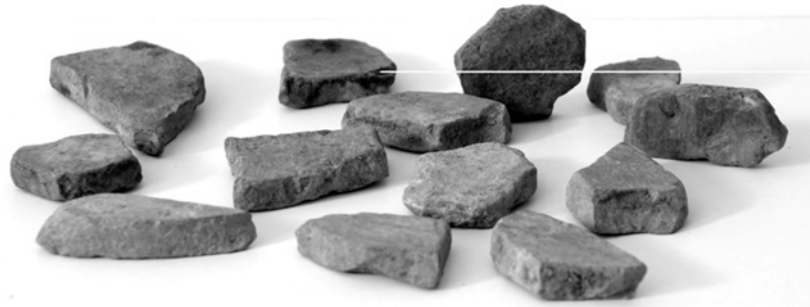


Рис. 1. Уламки цементного каменю

Це підтверджує, що тампонажний цемент без спеціальних добавок, які покращують фізико-механічні властивості цементного каменю, не здатен забезпечити якісне та герметичне кріплення свердловини впродовж тривалого терміну її експлуатації.

Як бачимо з табл. 2, полегшений тампонажний розчин без добавок характеризується модулем пружності 6,28 ГПа та коефіцієнтом Пуассона 0,15. Під час комплексного використання добавок-модифікаторів та ФПВ, що супроводжується дисперсним армуванням системи, модуль пружності зменшується до значення 5,32 ГПа, а коефіцієнт Пуассона зростає до 0,20. Це знижує можливість тріщиноутворення та сприяє збереженню однорідності розчину. Характерним є також зростання призмової міцності з 16 МПа для складу без добавок до 19 МПа – для модифікованого складу.

Як показали проведені дослідження, дисперсне армування тампонажного розчину поліпропіленовими волокнами збільшує його міцність (табл. 3). Встановлено, що оптимальним є

введення 0,03 мас. % ФПВ завдовжки 4 мм, що пояснюється їх оптимальною довжиною, достатньою як для армування розчину, так і для рівномірного розподілу у суміші за сухого і за мокрого змішування. Міцність тампонажного розчину при цьому зростає на розтяг за вигину на 9 % та на 5 % – за стиску порівняно з неармованим складом.

Таблиця 3

**Вплив ФПВ на властивості тампонажних сумішей**

№	Довжина волокна, мм	Вміст, мас. %	Розтічність, мм	Водовідділення, мл	Густина, г/см <sup>3</sup>	Міцність розчину через дві доби за температури тверднення 75° С	
						на розтяг за вигину	за стиску
1	2	0,02	229	0	1,6	4,90	13,85
2	2	0,03	231	0	1,6	5,05	13,90
3	2	0,04	230	0	1,6	5,00	14,20
4	4	0,02	232	0	1,6	5,00	14,15
5	4	0,03	232	0	1,6	5,40	14,25
6	4	0,04	230	0	1,6	5,30	14,40
7	8	0,02	233	0	1,6	4,70	13,40
8	8	0,03	230	0	1,6	4,55	13,20
9	8	0,04	233	0	1,6	4,60	13,35
10	-	-	230	0	1,6	4,95	13,55

Велика кількість води замішування, що використовується для досягнення заданої розтічності та густини полегшеної тампонажної суміші (табл. 1), у процесі тверднення зумовлює зростання усадкових деформацій, що може призвести до порушення герметичності кріплення. Використання комплексу модифікуючих поліфункціональних добавок (стабілізатор-пластифікатор-антиспінювач-ФПВ) дає змогу отримати суміш з наперед заданими властивостями та сприяє зменшенню деформаційних напружень у різні періоди гідратації. Так, стабілізація частинок тампонажної суміші добавкою Walocel у процесі тужавіння, знижуючи пластичну деформацію системи, зменшує також седиментацію, і вже на 20 добу усадження розчину з використанням добавки-стабілізатора на 25 % меншої від бездобавочного складу становить 1,23 мм/м (рис. 2).

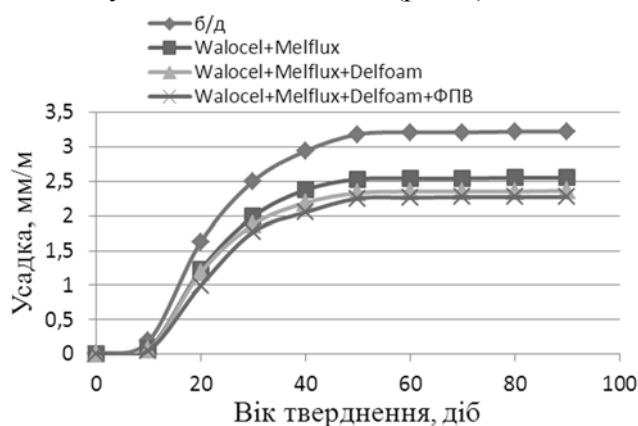


Рис. 2. Деформації усадження тампонажного розчину, модифікованого добавками різної дії

Через три місяці усадження розчину без хімічних добавок становить 3,22 мм/м, а розчину з добавкою Walocel – 2,55 мм/м. Введення до складу композиції поліпропіленових волокон завдяки армуванню системи збільшує її внутрішні напруження і відповідно зменшує усадження. Усадження розчину через 20 та 90 днів тверднення системи становить 0,99 та 2,27 мм/м відповідно, що на 39 та 30 % менше порівняно з бездобавочним складом.

Зменшення усадкових деформацій, безумовно, позитивно впливає на структуроутворення тампонажного розчину, однак якісна герметизація за колонного простору, що усуває небезпеку утворення флюїдопроникних каналів, можлива лише під час застосування розширних сумішей. Використання у тампонажних сумішах меленого негашеного вапна, розширення якого визначається кінетикою кристалізації  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , за підвищених термобаричних умов в свердловині вимагає застосування спеціального низькорекційного вапна, яке виробляють за підвищених температур. Встановлено, що введення до складу суміші 3 мас. % вапна викликає розширення 1,58 %. Під час використання 7 мас. % вапна розширення досягає 9,47 % (рис. 3), але його характер є неконтрольований, що призводить до утворення тріщин. Отже, оптимальний вміст меленого негашеного вапна у тампонажному розчині становить 3–5 мас.%, що забезпечує лінійне розширення 1,58 – 4,21 %. Такий рівень розширення забезпечує достатній тиск (1–2 МПа) на стінки свердловини і сприяє ефективному ущільненню за колонного простору, підвищенню міцності і, як наслідок, зниженню його газо- і водопроникності.

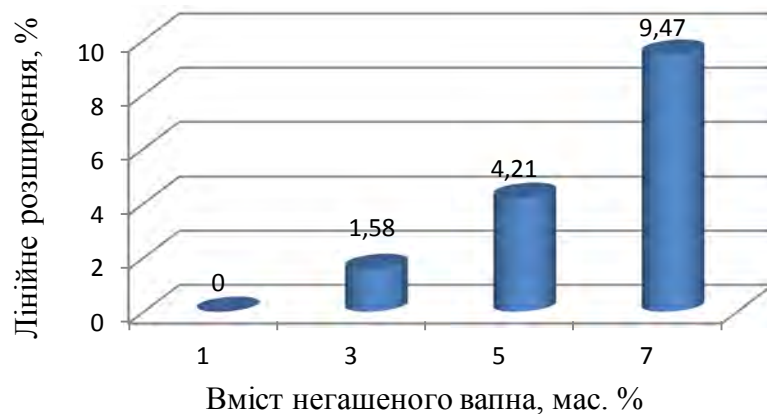


Рис. 3. Вплив низькорекційного негашеного вапна на розширення тампонажного розчину через одну добу тверднення за температури 75 °С

### Висновки

Модифікування полегшених тампонажних сумішей комплексом добавок поліфункціонального призначення (пластифікатор, стабілізатор, антиспінювач, мікроармувальні поліпропіленові волокна) дає змогу покращити разом з технологічними властивостями такі експлуатаційно-технічні характеристики тампонажного матеріалу, як міцність, тріщиностійкість, показники пружно-пластичних деформацій та деформацій усадження. Додаткове введення до модифікованих полегшених тампонажних сумішей 3–5 мас. % низькорекційного вапна забезпечує лінійне розширення каменю від 1,58 до 4,21 %.

1. Коцкулич Я.С., Тершак Б.А., Сенюшкович М.В. Стан та перспектива забезпечення надійності за колонного простору кріплення свердловин на пізній стадії розробки родовищ / ВНТЖ «Розвідка та розробка нафтогазових родовищ». – 2007. – №2(23). – С.123–126. 2. Булатов А.И. Тампонажные материалы / А.И. Булатов, В.С. Данюшевский. – М.: Недра, 1987. – 280 с. 3. Горський В. Ф. Тампонажні матеріали і розчини: монографія. – Чернівці, 2006. – 524 с. 4. Соболев Х.С. Использование технологии сухих строительных смесей для изготовления облегченных тампонажных материалов / Х.С. Соболев, В.С. Терлыга // Сухие строительные смеси: инфор. научн.-техн. журнал. – М., 2011. – № 4. – С. 41–43. 5. Пат. 73477 Україна, МПК С04В 7/00. Зв'язуюче / Х.С. Соболев, М.А. Саницький, Н.І. Петровська, В.С. Терлига (Україна). – № заявки U 2012 02823; заявл. 12.03.2012; опубл. 25.09.2012. Бюл. № 18. – 4 с. 6. Колбасов В.М. Технология вяжущих материалов / В.М. Колбасов, И.И. Леонов, Л.М. Сулименко. – М.: Стройиздат, 1987. – 432 с. 7. Тейлор Х. Химия цемента / Х. Тейлор. – М.: Мир, 1996. – 560 с.