

# Наука — виробництву

УДК 622.245

## СИЛІКАТНО-КАЛІЄВИЙ БУРОВИЙ РОЗЧИН

<sup>1</sup>М.І. Оринчак, <sup>1</sup>О.В. Микитчак, <sup>2</sup>М.М. Оринчак, <sup>1</sup>О.С. Бейзик

<sup>1</sup>ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42153,  
e-mail: no@nimg.edu.ua

<sup>2</sup>НАК «Нафтогаз України», 00001, м. Київ, вул. Б. Хмельницького, 6

Основним ускладненням, яке зустрічається при бурінні нафтових і газових свердловин в нашій країні, є обвалювання та осипання стінок свердловини. Основною причиною цього ускладнення є тріщини, які утворились у породах під дією тектонічних процесів в надрах земної кори. Тріщини є ідеальним каналом для проникнення фільтрату бурового розчину на значну віддаль від стінок свердловини. Для укріплення стінок свердловини рекомендується силікатно-калієвий буровий розчин, склад, рецептуру, порядок приготування та регулювання параметрів якого отримано на основі лабораторних досліджень. Рідке скло, яке володіє адгезійними властивостями, покращує сили зчеплення між порушеними частинками породи. Хлористий калій підсилює зв'язок між шарами кристалічної ґратки монтморилоніту і запобігає загущенню бурового розчину. Вміст рідкого скла у фільтраті розчину пропонується визначати седиментаційним кислотним способом, а іонів калію – седиментаційним кобальтонітритним методом.

Ключові слова: рідке скло, хлористий калій, адгезійні властивості, інгібітор, осипання та обвалювання, кобальтонітритний метод, седиментаційний кислотний спосіб

Основным осложнением, встречающимся при бурении нефтяных и газовых скважин в нашей стране, являются обвалы и осыпи стенок скважин. Основной причиной этого осложнения являются трещины, образовавшиеся в породах под воздействием тектонических процессов в недрах земной коры. Трещины – это идеальный канал для проникновения фильтрата бурового раствора на значительное расстояние от стенок скважины. Для укрепления стенок скважины предлагается силикатно-калийевый буровой раствор, состав, рецептура, порядок приготовления и регулирования параметров которого получено на основании лабораторных исследований. Жидкое стекло, обладающее адгезионными свойствами, улучшает силы сцепления между разрушенными частицами породы. Хлористый калий усиливает связь между слоями кристаллической решетки монтмориллонита и предотвращает загущение бурового раствора. Содержание жидкого стекла в фильтрате раствора предлагается определять седиментационным кислотным способом, а ионов калия – седиментационным кобальтонитритным методом.

Ключевые слова: жидкое стекло, хлористый калий, адгезионные свойства, ингибитор, осыпи и обвалы, кобальтонитритный метод, седиментационный кислотный способ

*Crumbling of the well's wall is the main complication that occurs in drilling of oil and gas well in our country. The principal reason of its complication are rifts, which are formed in the rock in the result of tectonic processes's action in the bowels of the earth crust. Rifts are an ideal channel for mud's filtrate percolation at a great way off well's wall. To reinforce the well walls silicate potassium mud solution is recommended of which composition, formulation, the way of preparation and regulation parameters is based on the laboratory findings. Liquid glass, which has the adhesion properties improves adhesive power between the particles of broken rock. Potassium chloride strengthens the link between the balls of montmorillonite crystal lattice and prevents mud gelation. Acid-sediment method is recommended to determine the content of the liquid glass in the mud filtrate and cobalt-nitrite method must be used to determine the content of potassium chloride.*

Key words: liquid glass, potassium chloride, adhesion properties, inhibitor, falling and banking, cobalt-nitrite method, acid-sediment method

Обвалювання та осипання стінок свердловини є основним ускладненням, яке зустрічається у процесі буріння нафтових і газових свердловин в нашій країні. Основною причиною цього ускладнення є тріщини, які утворились в породах під дією тектонічних процесів в надрах земної кори. Тріщини є ідеальним кана-

лом для проникнення фільтрату бурового розчину на значну глибину. Фільтрат, проникаючи в стінки свердловини, ще більше зменшує ослаблені сили зчеплення в гірській породі і спричинює обвалювання і осипання стінок свердловини. Зберегти їх стійкість при розбурюванні тектонічно порушених порід дуже важко.

У практиці для боротьби з обвалюваннями та осипаннями стінок свердловини застосовують малосилікатні, хлоркалієві, полімерхлоркалієві, гіпскалієві, алюмокалієві розчини тощо. Малосилікатні розчини, які за даними Городнова В.Д. [3] володіють підвищеними адгезійними властивостями, у більшості випадків зберігають стійкість стінок свердловини. Основним недоліком малосилікатних розчинів є їх загушення, особливо при розбурюванні глинистих відкладів, що обмежує їх застосування при бурінні нафтових і газових свердловин в нашій країні.

Інгібуючі розчини зменшують набухання глинистих відкладів та сповільнюють інтенсивність обвалювання та осипання стінок свердловини. Однак за наявності в розрізі свердловини значних тектонічних порушень ефективність інгібуючих розчинів різко знижується.

Метою цієї роботи є розробка складу і рецептури бурового розчину, який би одночасно володів адгезійними та інгібуючими властивостями.

Поставлена мета досягається введенням в буровий розчин на водній основі рідкого скла ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) з модулем 2,4-3,0 та хлористого калію (KCl), як одного з найефективніших інгібіторів глинистої фази.

Рідке скло, попри добру адгезію, взаємодіє з обмінними іонами  $\text{Ca}^{+2}$  глини, утворюючи кальцій-силікатний цемент, що призводить до підвищення стійкості стінок свердловини.

Хлористий калій (KCl) ефективно протидіє набуханням глин і загущенню бурового розчину. Це пояснюється тим, що діаметр іонів калію –  $2,66\text{Å}$  ( $\text{Å}$  (ангстрем) – міра довжини, дорівнює  $10^{-10}$  м), а відстані між тетраедричним та октаедричним шарами кристалічної ґратки монтморілоніту дорівнює  $2,8\text{Å}$ . Іони калію вільно проникають у міжплощинний простір глинистих мінералів, замінюючи іонний зв'язок (0:0) на ковалентний зв'язок (K:0), і надійно зв'язують елементарні пластинки монтморілоніту між собою, збільшуючи міцність глинистих порід.

Буровий розчин, в якому адгезійні властивості забезпечує рідке скло, а інгібуючі – хлористий калій, умовно названо силікатно-калієвим.

Визначення складу і рецептури силікатно-калієвого розчину було проведено нами під час серії лабораторних досліджень, для яких використовували глинисту суспензію з такими вихідними параметрами:  $\rho=1050$  кг/м<sup>3</sup>;  $T=18$  с;  $\text{pH}=7,0$ ;  $\theta_1=2$  дПа;  $\Phi_{30}=14$  см<sup>3</sup>/30 хв.;  $K=2,5$  мм. Глинисту суспензію було приготовлено із бентонітового глинопорошку першого класу. Регулювання концентрації іонів водню (pH) глинистої суспензії планували проводити з допомогою гідроксиду калію. Для зменшення фільтрації глинистої суспензії застосовували 10% водний розчин екструзивного крохмалю (ЕКР), для одержання якого проводили клейстеризацію ЕКР гарячою водою за температури  $t=75-85^\circ\text{C}$ . В умовах бурової клейстеризацію ЕКР пропонуємо проводити за допомогою гідроксиду ка-

лію у співвідношенні між ЕКР:КОН=10:1. Для зменшення умовної в'язкості застосовували конденсовану сульфїт-спиртову барду (КССБ), яку вводили у буровий розчин у вигляді 12%-го водного розчину, а для зменшення фільтрації – КССБ вводили у вигляді товарного продукту. Рідке скло вводили у глинисту суспензію у вигляді товарного продукту (~50% концентрації), модуль якого 2,4-3,0. Хлористий калій вводили у глинисту суспензію у вигляді товарного продукту, попередньо подрібнивши його у фарфоровій ступці.

Кількість вимірювань, необхідних для отримання достовірних даних, оцінювали за величиною коефіцієнта варіації  $v$ , середньоарифметичного значення  $x_{\text{сер}}$  та середньоарифметичного відхилення  $\sigma$ , величину яких визначали за методикою [1]. Якщо відхилення від середньоарифметичного значення перевищувало  $3\sigma$ , то результати відповідних вимірювань виключали із розрахунків. Результати аналізу різних залежностей свідчать, що при кількості вимірювань 4 в кожному досліді коефіцієнт варіації не перевищує 15%. Тому для подальших досліджень було прийнято проводити по 4 досліді для кожної точки, а на графіках вказати середньоарифметичні значення.

Вплив рідкого скла на параметри глинистої суспензії зображено на рис. 1.

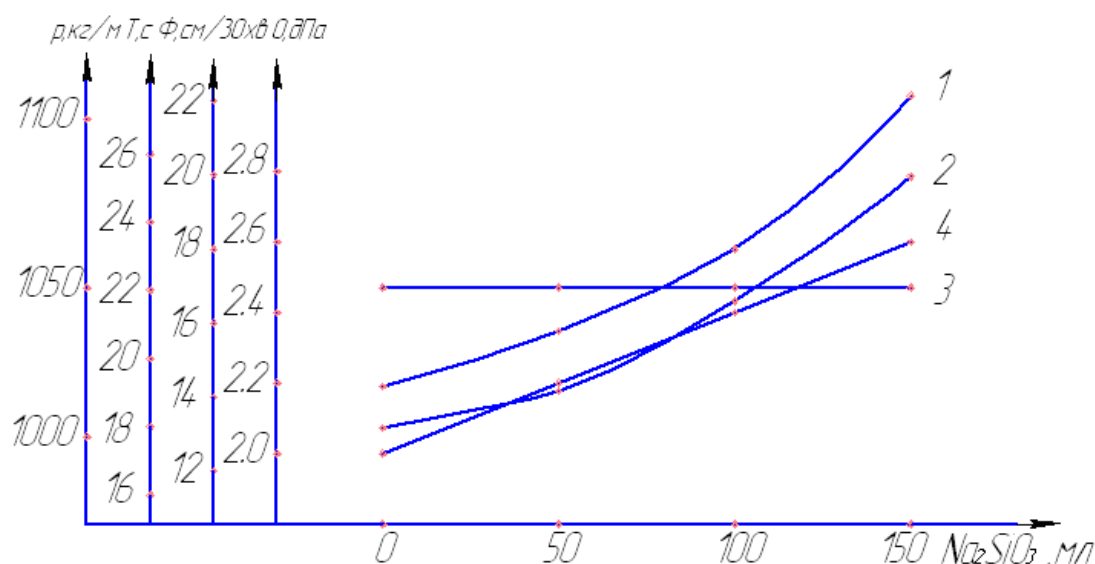
Як бачимо з рис. 1, зі збільшенням концентрації рідкого скла зростають фільтрація  $\Phi_{30}$  та умовна в'язкість  $T$ , що, на нашу думку, пов'язано з впливом  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  на коагуляційні процеси глинистої суспензії. Статичне напруження зсуву  $\theta_1$  з цієї ж причини зростає незначно. Густина бурового розчину  $\rho$  не змінюється. Отже, рідке скло негативно впливає на параметри розчину, тому його оптимальна концентрація в розчині повинна бути в межах мінімальних значень, інакше зростання концентрації  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  призведе до збільшення витрат хімічних реагентів-стабілізаторів у буровому розчині.

Вплив концентрації екструзивного крохмалю на параметри глинистої суспензії графічно зображено на рис. 2. ЕКР зв'язує вільну воду, і зі збільшенням його концентрації спостерігається зниження фільтрації та збільшення умовної в'язкості бурового розчину. Решта параметрів практично не змінюються, що підтверджується графічними залежностями на рис. 2.

На рис. 3 зображено залежності основних параметрів глинистої суспензії від концентрації КССБ у буровому розчині.

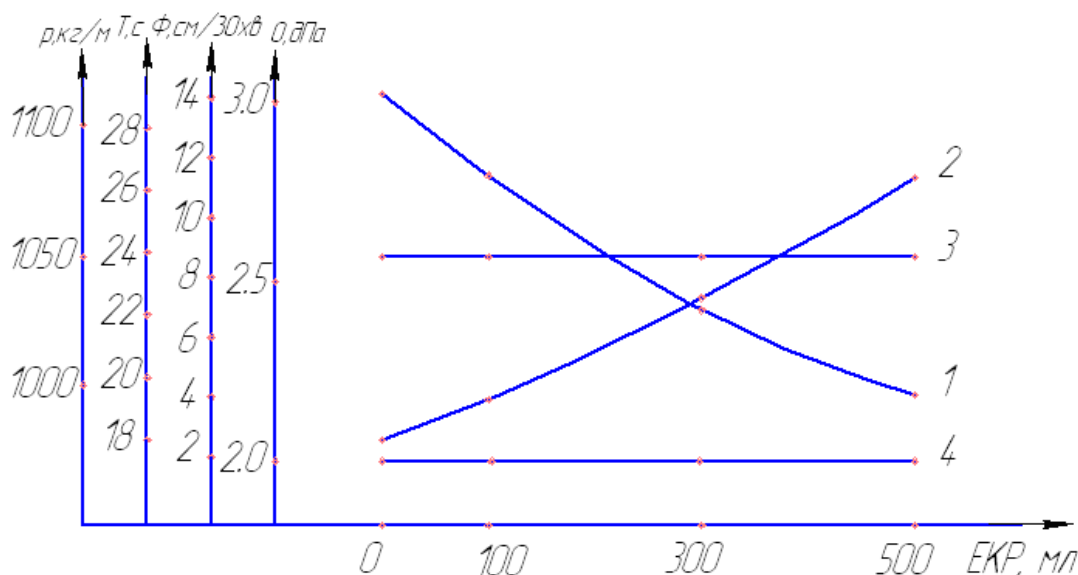
Як бачимо із рис. 3, зі збільшенням концентрації КССБ зменшується фільтрація, зростає умовна в'язкість, а статичне напруження зсуву і густина незначно змінюються.

На рис. 4 зображено графічні залежності параметрів бурового розчину від концентрації хлористого калію на параметри глинистої суспензії. Як бачимо із наведеного рисунка, із збільшенням концентрації KCl суттєво зростає фільтрація та умовна в'язкість глинистої суспензії, інші параметри (статичне напруження зсуву, густина суспензії) зі зміною концентрації KCl змінюються незначно.



1 – фільтрація  $\Phi_{30}$ ; 2 – умовна в'язкість  $T$ ; 3 – густина  $\rho$ ; 4 – статичне напруження зсуву  $\theta_1$

**Рисунок 1 – Вплив рідкого скла ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) на параметри глинистої суспензії**



1 – фільтрація  $\Phi_{30}$ ; 2 – умовна в'язкість  $T$ ; 3 – густина  $\rho$ ; 4 – статичне напруження зсуву  $\theta_1$

**Рисунок 2 – Вплив ЕКР на параметри глинистої суспензії**

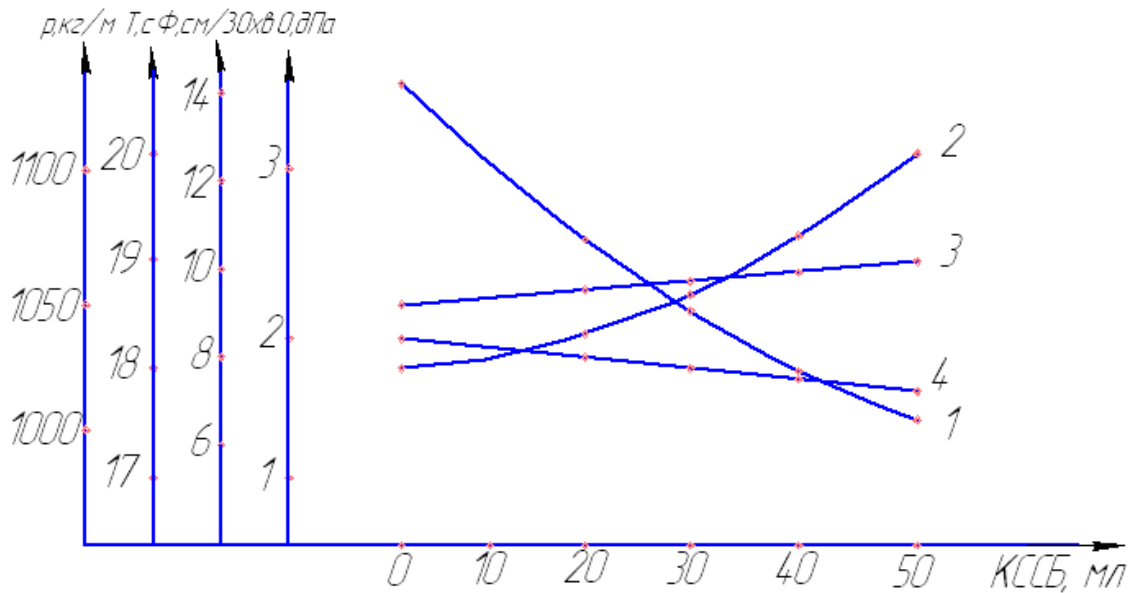
Отже, на основі аналізу проведених лабораторних експериментів та графічних залежностей, зображених на рис. 1, 2, 3, 4, отримали склад і рецептуру силікатно-калієвого розчину, яка подана нижче із розрахунку на  $1 \text{ м}^3$  розчину:

- 1) порошок бентонітовий – 40-50 кг;
- 2) екструзивний крохмаль – 30 кг;
- 3) конденсована сульфит спиртова барда – 40-50 кг;
- 4) хлористий калій – 30-35 кг;
- 5) рідке скло – 30-40 л (50% водно-лужного розчину);
- 6) вода – решта.

За необхідності у розчин вводять мастильну домішку (кофос, лабрикол, нафта), піногасник (МАС-200, ГС, ПЕС тощо) та обважнювач

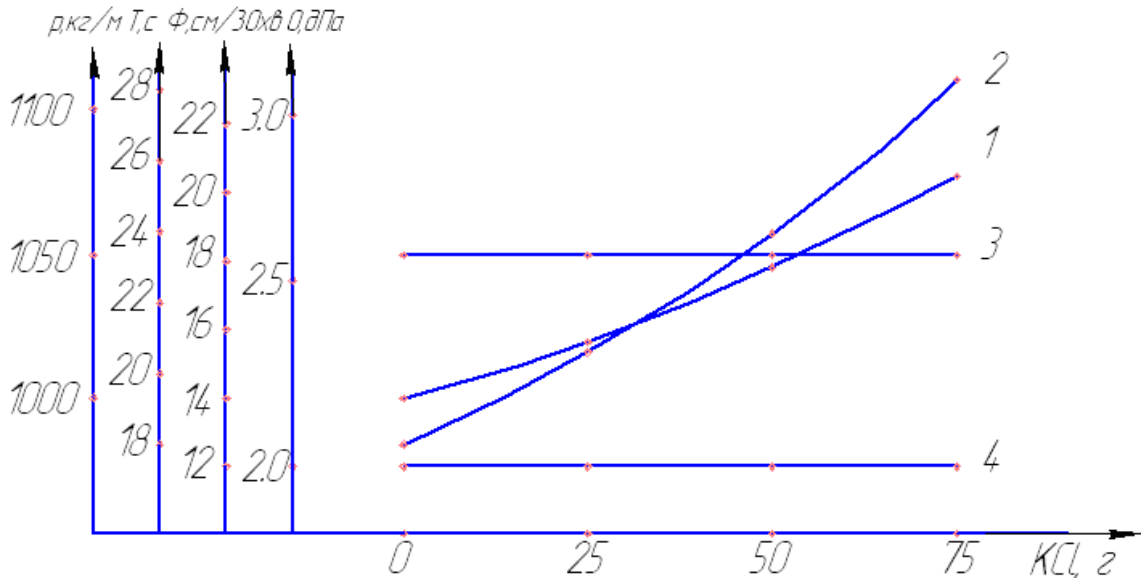
(крейда, барит). Як видно із наведеного складу силікатно-калієвого розчину, в ньому відсутній регулятор рН (гідроксид калію). Ця особливість пов'язана з тим, що рідке скло ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) має власний високий показник рН, яке коливається в межах 12-13, а тому немає необхідності у застосуванні гідроксиду калію.

**Порядок приготування силікатно-калієвого розчину.** У приготовану глинисту суспензію (умовна в'язкість не повинна перевищувати  $T=18 \text{ с}$ ), вводять 10% водний розчин екструзивного крохмалю і перемішують його протягом 30-35 хв. Паралельно готують 12% водний розчин КССБ, після чого вводять його до бурового розчину і перемішують протягом 10-15 хв. Після введення реагентів-стабілізато-



1 – фільтрація  $\Phi_{30}$ ; 2 – умовна в'язкість  $T$ ; 3 – густина  $\rho$ ; 4 – статичне напруження зсуву  $\theta_1$

**Рисунок 3 – Вплив КССБ на параметри глинистої суспензії**



1 – фільтрація  $\Phi_{30}$ ; 2 – умовна в'язкість  $T$ ; 3 – густина  $\rho$ ; 4 – статичне напруження зсуву  $\theta_1$

**Рисунок 4 – Вплив хлориду калію (KCl) на параметри глинистої суспензії**

рів до розчину вводять інгібітори – рідке скло і хлористий калій, у результаті чого розчин спочатку загущувався, а потім у процесі тривалого перемішування розріджувався. Перемішування розчину продовжують до повного розчинення хімреагентів. Після приготування силікатно-калієвий розчин повинен мати такі параметри:

$$\rho = 1050-1060 \text{ кг/м}^3, T = 34-36 \text{ с}, \theta_1 = 5-8 \text{ дПа}, \\ \Phi_{30} = 2-3 \text{ см}^3, K = 1,0-1,5 \text{ мм} \\ \text{pH} = 9-10, K^+ = 1500 \text{ мг/л}.$$

У процесі буріння свердловини буровий розчин постійно очищують від вибуреної породи, на поверхні якої адсорбуються частинки хімічних реагентів, а тому їх концентрація в розчині зменшується. При зміні параметрів бурового розчину на 10-15% від початкових зна-

чень необхідно проводити повторні хімічні обробки.

Для зменшення фільтрації у силікатно-калієвий розчин необхідно вводити 10-15% водний розчин ЕКР протягом 1-2 циклів циркуляції бурового розчину. Орієнтована доза ЕКР на повторну хімічну обробку коливається в межах 5-6 кг на 1 м<sup>3</sup> розчину. Детальніше дозу ЕКР уточнюють у лабораторних умовах.

Умовну в'язкість і статичне напруження зсуву регулюють 12% водним розчином КССБ. Для зменшення спінювання водний розчин КССБ доцільно вводити у циркулюючий буровий розчин перед всмоктуючою лінією бурового насоса разом з піногасником протягом 1-2 циклів. Одноразова доза КССБ на повторну хімічну обробку коливається в межах 6-8 кг на

1 м<sup>3</sup> бурового розчину. В кожному конкретно-му випадку дозу хімреагенту уточнюють, провівши вимірювання T і θ<sub>1</sub> на приладах ВП-5 і СНС-2 після введення КССБ у розчин. Густина бурового розчину можна збільшувати до 1300 кг/м<sup>3</sup>, обважнивши його крейдою, а при підвищенні густини понад 1300 кг/м<sup>3</sup> – модифікованим флотаційним баритом. За необхідності зменшення густини спочатку застосовують тонке очищення розчину, а потім вводять легкий розчин або нафту.

Оцінювати адгезійні та інгібуючі властивості силікатно-калієвого розчину в процесі буріння свердловини важко, тому що при одночасному вмісті хлористого калію і рідкого скла в розчині відсутня методика визначення їх кількісного складу.

Окремо вміст рідкого скла і хлористого калію пропонуємо визначати за такою схемою. Спочатку за допомогою кислоти проводять реакцію, у результаті якої рідке скло випадає в осад, а потім у цьому фільтраті визначати вміст іонів калію. Осаджувати рідке скло в фільтраті силікатно-калієвого розчину рекомендуємо соляною кислотою [2]. Реакція між рідким склом і соляною кислотою проходить за такою схемою:



У результаті реакції (1) утворюється кремнієва кислота, яка в подальшому розпадається на окис кремнію і воду (2). Вміст окису кремнію у фільтраті розчину можна визначити центрифугуванням. Для цього у фільтрат бурового розчину додають розрахункову кількість концентрованої соляної кислоти, перемішують, після чого утворюється осад. Фільтрат разом з осадом переливають у центрифужні пробірки однакового діаметра, легко збовтують, закривають гумовим корком і центрифугують протягом 3 хвилин з частотою обертання ротора 3000 об/хв. Потім вимірюють висоту осаду окису кремнію і за калібрувальною кривою визначають вміст рідкого скла. Калібрувальну криву будують в такій послідовності, як визначають вміст SiO<sub>2</sub>. Різниця полягає тільки в тому, що для вимірювання беруть водні розчини рідкого скла (не менше 5 значень) визначеної концентрації. У фільтраті, який залишився після осадження рідкого скла, вміст іонів калію визначають експресним седиментаційним кобальтонітритним методом, який найбільш розповсюджений у практиці буріння свердловин. Методика проведення цього заміру детально описана в літературі [4].

Отже, на основі проведених лабораторних досліджень, розроблено склад, рецептуру, технологію приготування та регулювання параметрів силікатно-калієвого розчину, основною особливістю якого є одночасна присутність в розчині адгезійних і інгібуючих домішок. Адгезійна домішка Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> покращує сили зчеплення між порушеними частинками породи, а інгібуюча домішка KCl підсилює зв'язок між ша-

рами кристалічної ґратки і монтморилоніту і запобігає загущенню бурового розчину. Вміст рідкого скла в фільтраті розчину пропонується визначати за величиною осаду SiO<sub>2</sub>, який отримується після взаємодії HCl і Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>. Вміст хлористого калію найбільш доцільно визначати седиментаційним кобальтонітритним методом.

### Література

1 Волобуєв А.І. Методичні вказівки з дисципліни “Механіка гірських порід для студентів спеціальності 09.03.06 [Текст] / А.І. Волобуєв, Б.М. Малярчук. – Івано-Франківськ: Факел, 1994. – 13 с.

2 Гончаров А.И. Справочник по химии [Текст] / А.И. Гончаров, М.Ю. Корнилов. – К.: Вища школа, 1977. – 304 с.

3 Городнов В.Д. Физико-химические методы предупреждения осложнений в бурении [Текст] / В.Д. Городнов. – М.: Недра, 1984. – 229 с.

4 Коцкулич Я.С. Бурові промивні рідини [Текст] / Я.С. Коцкулич, М.І. Оринчак, М.М. Оринчак. – Івано-Франківськ: Факел, 2008. – 500 с.

*Стаття надійшла до редакційної колегії  
27.04.11*

*Рекомендована до друку професором  
Коцкуличем Я.С.*