



Фільтрація безглинистих промивальних рідин та методологія її зменшення

© Лубан С.В.
Лубан Ю.В

канд. техн. наук
ТОВ «Геосинтез інженірінг»

УДК 622.24.06.32

UA На основі аналізу механізму фільтрації безглинистих промивальних рідин запропоновані нові підходи до її регулювання, які полягають у спрямованому зменшенні проникності фільтраційної кірки та підвищенні реологічних властивостей рідини при вибійних температурах. Досліджено вплив реагенту Alevron® на фільтраційні властивості безглинистої промивальної рідини Біокар-МТ.

Ключові слова: фільтрація, промивальна рідина, безглинистий буровий розчин, фільтраційна кірка, проникність, кольматант, пластова температура, перепад тиску, тверда фаза, репресія, буріння.

RU На основе анализа механизма фильтрации безглинистых промывочных жидкостей предложены новые подходы к ее регулированию, которые заключаются в направленном уменьшении проницаемости фильтрационной корки и повышении реологических свойств жидкости при забойных температурах. Изучено влияние реагента Alevron® на фильтрационные свойства безглинистой промывочной жидкости Биокар-МТ.

Ключевые слова: фильтрация, промывочная жидкость, безглинистый буровой раствор, фильтрационная корка, проницаемость, кольматант, пластовая температура, перепад давления, твердая фаза, репрессия, бурение

EN Based on the analysis of filtration mechanism of clay-less drilling fluids new approaches to its regulation aimed at reducing mud cake permeability and increasing rheological properties at bottomhole temperature were proposed. The influence of Alevron® agent on filtration properties of clay-less drilling fluid Biocar-MT was studied.

Key words: filtration, flush fluid, clayless drilling mud, mud cake, permeability, bridging agent, formation temperature, pressure drop, solid phase, repression, drilling

Кількість технологічної рідини, що надходить углиб порового середовища гірського масиву при бурінні та безпосередньо впливає на його стійкість і колекторські властивості, у великій мірі визначається показником фільтрації. Величина такого показника є функцією проникності фільтраційної кірки, яка утворюється на поверхні даного середовища. У свою чергу, проникність фільтраційної кірки залежить від «щільності упаковки матеріалу», з якого вона складається [1].

При фільтруванні традиційних глинистих бурових розчинів, у формуванні фільтраційної кірки беруть участь частки твердої фази різного розміру з великим вмістом глинистої колоїдної складової. Завдяки своїй полі-

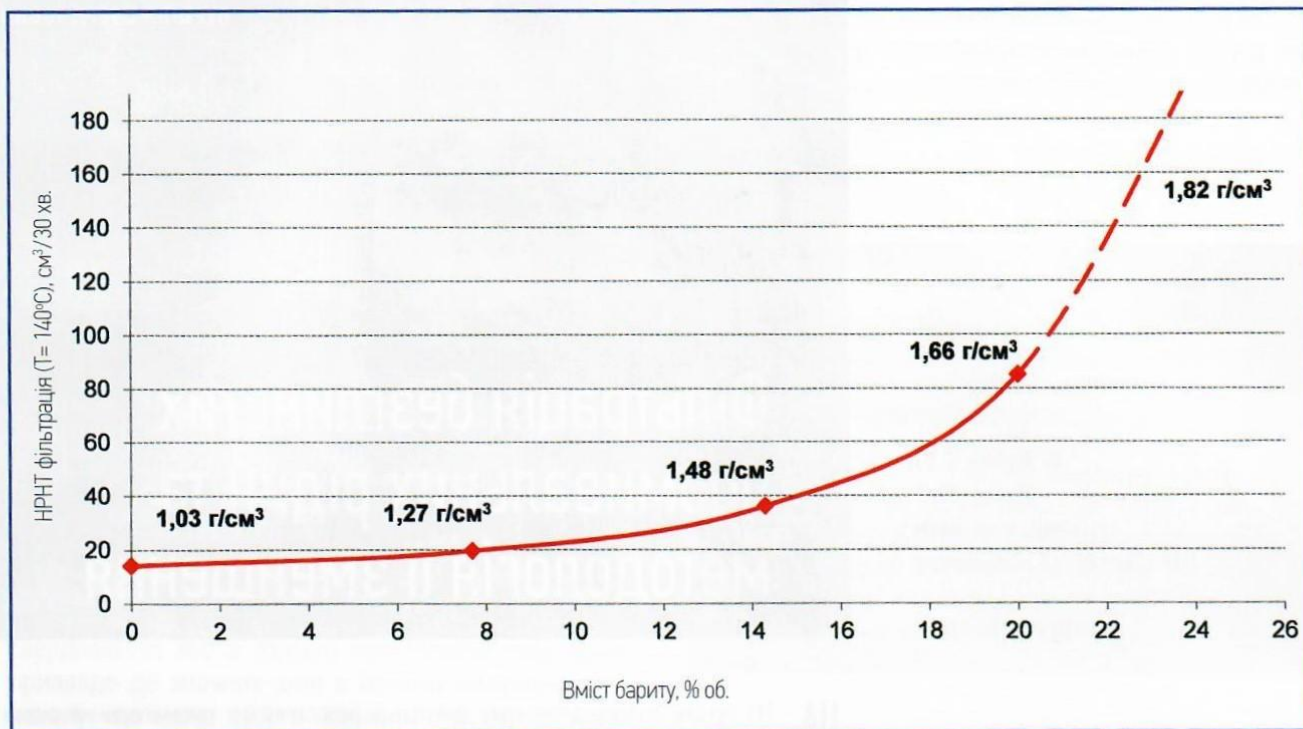


Рис. 1. Залежність величини вибієної фільтрації безглинистої промивальної рідини Біокар-МТ від концентрації баритового обважнювача

дисперсності, щільність упаковки часток у кірці є дуже високою. Водночас важливими факторами зменшення проникності такої кірки є високий рівень гідратації глинистих часток, ступінь їхньої агрегації та розвиток коагуляційних структур у системі, а також пластичність самих глинистих мінералів, завдяки якій, кірка додатково ущільнюється під тиском [2]. На практиці такі фактори регулюються добавками органічних колоїдів – полімерних реагентів, що безпосередньо діють на фізико-хімічний стан глинистої фази розчину.

У системах безглинистих промивальних рідин кірка переважно формуються частками інертних наповнювачів – мармуру або бариту, гідратація яких є значно меншою, ніж у глини. Наповнювачі мають низьку пластичність і приблизно однаковий, порівняно великий розмір. Кірка, утворена такими частками, майже не ущільнюється в часі та нагадує каркас або сітку, вільний простір якої заповнений в'язкими молекулами полімерів. Тобто при формуванні кірки в системі безглинистої промивальної рідини полімерні компоненти безпосередньо не впливають на стан часток твердої фази. Роль полімерів зводиться виключно до зменшення проникності досить рихлого середовища кірки шляхом створення надвисокого фільтраційного опору у вузьких зазорах вільного простору між інертними частками.

Підтвердженням таких уявлень є виявлена нами стала залежність величини вибієної (або НРНТ – high pressure high temperature) фільтрації безглинистої промивальної рідини від концентрації бариту (рис. 1) [3]. Першопричиною зростання фільтрації ми вважаємо порушення співвідношення між грубодисперсною і колоїдною фазами розчину при збільшенні кількості обважнювача [4]. Внаслідок такого порушення матері-

ал кірки набуває все більшої однорідності як за типом, так і за розмірами часток, що призводить до зменшення щільності її упаковки та зростання проникності. У таких умовах в'язкість рідини стає визначним фактором обмеження величини фільтрації.

При нормальних умовах, коли в'язкість знаходиться на високому рівні, проникність кірки й величина фільтрації є низькою. Проте при вимірюваннях в термобаричних умовах, коли під дією температури в'язкість полімерної рідини суттєво зменшується, відбувається зниження фільтраційного опору та різке зростання фільтрації аж до повного відділення рідкої фази. З охолодженням рідини і збільшенням в'язкості полімерів низька проникність фільтраційної кірки та початкові значення показника фільтрації відновлюються.

Показово, що на величину НРНТ фільтрації обважненої безглинистої промивальної рідини концентрація полімерних реагентів майже не впливає. У той же час її зменшенню сприяють добавки різноманітних тонкодисперсних наповнювачів, розміри часток яких наближаються до колоїдних.

Для кращого розуміння механізму фільтрації безглинистої промивальної рідини та визначення шляхів її регулювання доцільно представити структуру кірки у вигляді моделі фіктивного ґрунту – пористого середовища, побудованого упаковкою куль однакового розміру.

Відповідно до існуючих уявлень [5], пористість фіктивного ґрунту не залежить від діаметра куль, що його утворюють, і визначається тільки їх взаємним розміщенням. Можливі варіанти розміщення куль фіктивного ґрунту коливаються між двома крайніми конфігураціями, з яких одна відповідає їхній найщільнішій упаковці, а інша – найвільнішій. При цьому кут ромба

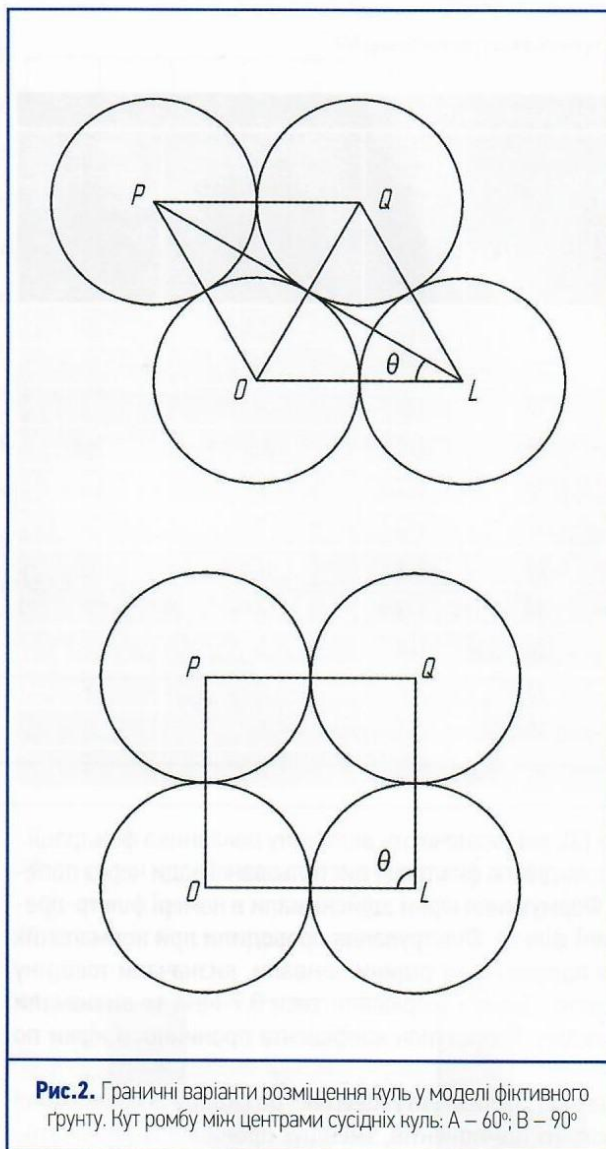


Рис.2. Граничні варіанти розміщення куль у моделі фіктивного ґрунту. Кут ромбу між центрами сусідніх куль: А – 60°; В – 90°

між центрами сусідніх куль змінюється в межах від 60° до 90° (рис. 2). Відповідно, теоретична пористість фіктивного ґрунту, яка визначається за формулою Сліхтера, знаходиться в межах:

$$m = 1 - \frac{\pi}{6(1 - \cos \theta) \sqrt{1 + 2 \cos \theta}}, \quad (1)$$

$$\theta = 60^\circ; m = 0,259$$

$$\theta = 90^\circ; m = 0,476$$

де: θ - кут ромба між центрами сусідніх куль;
 m - пористість.

Проникність фіктивного ґрунту в узагальненому вигляді може бути представлена залежністю:

$$k = f(m)d^2, \quad (2)$$

де: $f(m)$ - певна функція пористості; d - діаметр кулеподібної частки.

Звідси випливає, що при однаковій пористості ґрунту його проникність буде тоді меншою, коли меншим стане розмір куль, з яких побудований ґрунт, оскільки тоді ж вузькими будуть канали, по яких протискується рідина і, відповідно, тим гіршими будуть умови фільтрації. І навпаки, при однаковому розмірі куль, що утворюють ґрунт, проникність залежить від пористості, зростаючи разом з нею приблизно по ступеневому закону.

Швидкість фільтрації в'язкої рідини у фіктивному ґрунті визначається формулою:

$$w = \frac{k \Delta P}{\mu h}, \quad (3)$$

де: k - проникність ґрунту; μ - в'язкість рідини;
 ΔP - падіння тиску на довжині h порового каналу.

Отже, швидкість фільтрації у фіктивному ґрунті, при інших рівних умовах, визначається його проникністю (або пов'язаними з нею пористістю і розміром кулеподібних часток) та обернено пропорційна в'язкості рідини. Крім цього швидкість фільтрації пропорційно залежить від перепаду тиску між рідиною і середовищем фіктивного ґрунту.

Поширюючи дані положення на процес НРНТ фільтрації безглинистих промивальних рідин, можна припустити, що її зменшення буде мати місце:

- у випадку збільшення дисперсності твердої фази;
- при застосуванні коьматантів, здатних перекривати вільний простір між частками твердої фази в структурі кірки;
- при збереженні високих реологічних властивостей у термобаричних умовах.

До того ж фільтрація безглинистих промивальних рідин є дуже чутливою до зміни перепаду тиску, що накладає суттєві обмеження на величину репресії при розкритті проникних пластів та вимагає жорсткого контролю густини в процесі буріння.

Такі підходи до вирішення проблеми обмеження НРНТ фільтрації реалізовані в системі біополімерної безглинистої промивальної рідини Біокар-МТ, що застосовується при бурінні глибоких свердловин в Україні. Для цього до складу промивальної рідини введений спеціально розроблений термостабілізуючий реагент Alevron®, який одночасно виконує функції тонкодисперсного коьматанта фільтраційної кірки та термостійкого загущувача системи (табл. 1).

Таблиця 1
Вплив реагенту Alevron® на параметри мінералізованої біополімерної безглинистої промивальної рідини Біокар-МТ

Склад промивальної рідини	Параметри промивальної рідини						
	Умовна в'язкість (200/100 мл), с	СНЗ, дПа	Фільтрація, (ΔР=0,1МПа), см³/30 хв.	Пластична в'язкість, мПа*с	ДНЗ, дПа	Фільтрація через пісок [4] (ΔР=0,7МПа), см³/30 хв.	НРНТ фільтрація через паперовий фільтр (Т=130°С, ΔР=5МПа), см³/30 хв.
Біокар-МТ, (ρ=1190 кг/м³)	15	26/28	4	23	197	12,1	17
після 85 °С	14	15/21	4,5	20	177	12	-
після 120 °С	15	14/20	3	18	139	-	-
Біокар-МТ + 0,5% Alevron®	15	26/27	4	20	220	10,5	16,5
після 85 °С	17	23/25	4	19	157	8	-
після 120 °С	12	15/18	4	16	134	9	-
Біокар-МТ + 1% Alevron®	15	26/30	4	20	211	4	12
після 85 °С	22	21/24	4	24	173	2	-
після 120 °С	21	15/17	3,5	20	163	0	-
Біокар-МТ + 2% Alevron®	33	23/26	3,5	24	220	0	8
після 85 °С	37	27/39	3	20	211	0	7
після 120 °С	40	34/44	3	31	292	0	-

Розглянемо вплив реагенту Alevron® на складові формули (3), які визначають величину показника фільтрації. Проникність середовища фільтраційної кірки оцінювали за швидкістю фільтрації дистильованої води через попередньо сформовану кірку безглинистої промивальної рідини. Формування кірки здійснювали в камері фільтр-преса шляхом фільтрування промивальної рідини через паперовий фільтр. Фільтрування проводили при нормальних умовах, під тиском 0,7 МПа протягом 30 хвилин. Після цього промивальну рідини зливали, визначали товщину кірки і заповнювали камеру фільтр-преса дистильованою водою. Знову створювали тиск 0,7 МПа та визначали об'єм води, який відфільтрувався через кірку протягом 30 хвилин. Розрахунок коефіцієнта проникності кірки по воді проводили за формулою (3).

При порівнянні отриманих результатів з'ясовано, що введення 1,5% реагенту Alevron® до складу промивальної рідини, Біокар-МТ, яка містить стандартний набір кіркоутворюючих компонентів, зменшує проникність кірки майже в 1,7 рази (табл. 2).

Таблиця 2
Вплив реагенту Alevron® на проникність фільтраційної кірки промивальної рідини Біокар-МТ

Склад промивальної рідини (кіркоутворюючі компоненти)	Фільтрація промивальної рідини (ΔР=0,7МПа), см³/30 хв.	Товщина кірки, мм	Фільтрація води через кірку (ΔР=0,7МПа), см³/30 хв.	Проникність кірки, мкД
Біокар-МТ (10% мікромармур, 1,5% органічний кольматант)	4,9	1	3,9	0,671
Біокар-МТ (10% мікромармур, 1,5% органічний кольматант) + 1,5% Alevron®	3,5	1	2,3	0,396

Відомо, що збереження високих показників в'язкості при пластових температурах створює умови для збільшення гідравлічного опору руху рідини в поровому просторі колекторів та обмеження фільтрації [6]. Ефективність застосування реагенту Alevron® як регулятора в'язкості промивальної рідини в умовах температурної дії на вибої свердловини вивчали за допомогою НРНТ віскозиметра OFI 1100. Встановлено, що добавки реагенту суттєво збільшують реологічні і структурно-механічні властивості безглинистої системи Біокар-МТ в усьому діапазоні температур і концентрацій, які досліджувалися (рис. 3).

Покажемо вплив реагенту Alevron® на характер зміни НРНТ фільтрації безглинистої промивальної рідини внаслідок збільшення перепаду тиску (рис. 4).

З'ясовано, що фільтрація промивальної рідини, яка у своєму складі не містить реагент Alevron®, при збільшенні перепаду тиску має тенденцію до постійного зростання. Така поведінка є закономірною для безглинистої промивальної рідини, фільтраційна кірка якої під тиском не ущільнюється, тобто не змінює своєї проникності. Як і для моделі фіктивного ґрунту, швидкість фільтрації при цьому знаходиться у пропорційній залежності від величини перепаду тиску.

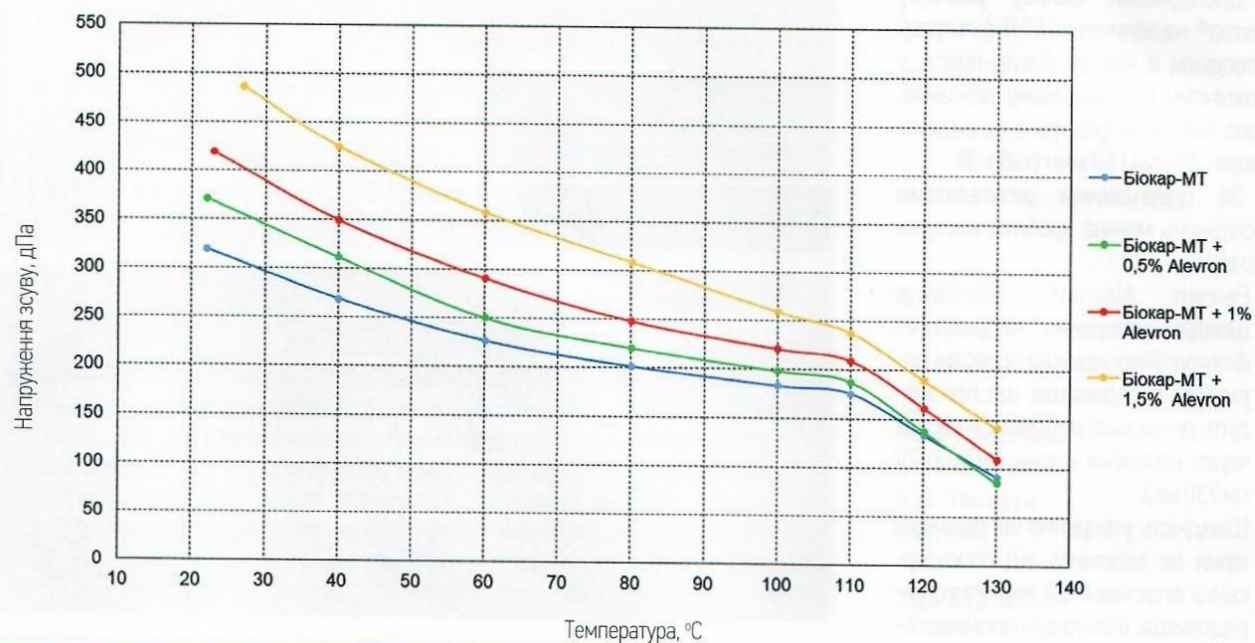


Рис. 3. Вплив реагенту Alevron® на залежність напруження зсуву від температури в системі безглинистої промивальної рідини Біокар-МТ

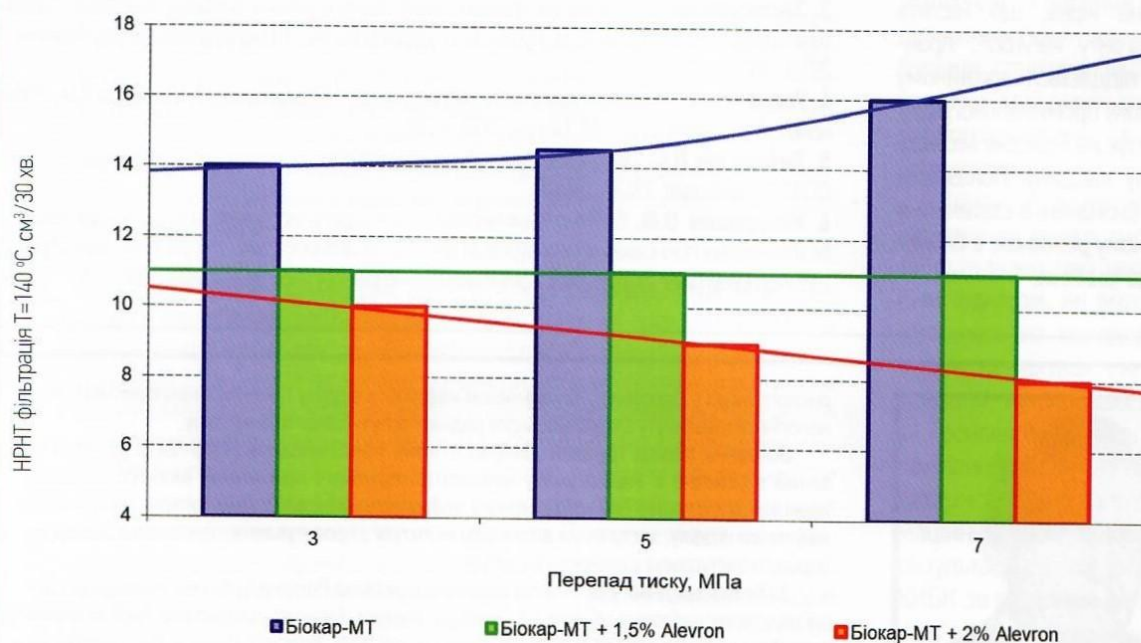


Рис. 4. Вплив реагенту Alevron® на характер зміни вибіної фільтрації безглинистої промивальної рідини Біокар-МТ внаслідок збільшення перепаду тиску

Фільтраційна поведінка безглинистої промивальної рідини, що містить реагент Alevron® є цілком протилежною. Залежно від концентрації реагенту фільтрація зі збільшенням перепаду тиску або залишається постійною, або навіть проявляє тенденції до зниження. Пояснити такі процеси можна зменшенням проникності фільтраційної кірки за рахунок пластичної деформації часток реагенту Alevron® у її структурі. Тобто така фільтраційна кірка набуває спроможності до ущільнення, через це пропорційна залежність фільтрації від перепаду тиску порушується. З практичної точки зору безглиниста промивальна рідина, оброблена реагентом Alevron®, виявляється стійкішою до збільшення величини репресії.

Таким чином реагент Alevron® у безглинистих системах спрямовано діє на всі складові формули (3), які впливають на швидкість фільтрації, що проявляється у погіршенні умов руху рідини через пористе середовище та обмеженні величини фільтрації в пластових умовах.

Дослідження впливу реагенту Alevron® на величину НРНТ фільтрації проводили в камері фільтр-преса, у статичному і динамічному режимах, через керамічні фільтри з розмірами отворів 20 мкм і 50 мкм (табл. 3).

За одержаними результатами досліджень можна зробити наступні висновки.

- Реагент Alevron® забезпечує швидке утворення непроникної фільтраційної кірки на поверхні пористого середовища, що призводить до низької вибіркової фільтрації через керамічні диски (менше 20 см³/30 хв.).
- Швидкість утворення непроникної кірки не залежить від колекторських властивостей пористого середовища. Фільтрація промивальної рідини, обробленої реагентом Alevron®, залишається на стабільно низькому рівні при вимірюваннях на керамічних дисках різної проникності.
- Фільтраційна кірка, що містить частки реагенту Alevron®, практично не піддається ерозійному впливу потоку промивальної рідини, що вказує на її високу міцність та незначну товщину. Показники фільтрації, визначені в статичному й динамічному режимах, є близькими за значеннями.

Таблиця 3

Результати визначення НРНТ фільтрації промивальної рідини Біокар-МТ з добавками реагенту Alevron® (1,5%) через керамічні диски

Умови визначення НРНТ фільтрації	динамічний режим: 350 об/хв., T=120°C, ΔP=5МПа		статичний режим: T=120°C, ΔP=5МПа
Параметри керамічного диска, мкм	20	50	50
Величина показника фільтрації, см²/30 хв.	12,0	16,0	12,4

ВИСНОВКИ

Отже, з'ясовано, що реагент Alevron®, основним призначенням якого є колюматація порового простору та зменшення температурного розрідження полімерів, одночасно спричиняє суттєве зменшення величини НРНТ фільтрації. Такі результати досліджень є підтвердженням вірності сформульованих у статті положень про механізм фільтрації безглинистих рідин та методологію її регулювання. Завдяки реагенту Alevron® промивальна рідина Біокар-МТ набуває низку унікальних властивостей і характеризується найменшою вибіркою фільтрацією серед альтернативних безглинистих систем.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Баранов В.С. Глинистые растворы для бурения скважин в осложнённых условиях. / Булатов В.С. – М.: Гостоптехиздат, 1955. – 210 с.
- Воюцкий С.С. Курс коллоидной химии. / Воюцкий С.С. – М.: Химия, 1976. – 512 с.
- Застосування безглинистих промивальних рідин в умовах високих пластових тисків і температур / Ю. В. Лубан, С. В. Лубан, В. В. Дудзич [та ін.] // Нафтогазова галузь України. – 2013. – № 2. – С. 18-22.
- Утяжеление буровых и тампонажных растворов. / [Резниченко И.Н., Булатов А.И., Рябонь С.А., Шадрин С.Н.]. – М.: Недра, 1978. – 286 с.
- Лейбензон Л.С. Движение природных жидкостей и газов в пористой среде. – М., Л.: ОГИЗ Гостехиздат, 1947. – 244 с.
- Кондрашев О.Ф. Физико-химические основы регулирования изолирующих свойств безглинистых полисахаридных буровых растворов: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 25.00.15 / Кондрашев Олег Федорович; Уфимский гос. нефтяной техн. ун-т. – Уфа, 2005. – 4



ПОЛІВКА ІВАН МИКОЛАЙОВИЧ

Іван Миколайович народився 11 лютого 1934 р. у селі Торгановичі на Львівщині. У 1956 р. у Львівському політехнічному інституті здобув професію гірничого інженера з експлуатації нафтових і газових родовищ та почав трудову діяльність оператором із видобутку нафти. Пізніше працював старшим інженером Проектно-кошто-

рисного бюро у Дрогобичі, начальником нафтового відділу Проектно-кошторисного технологічного інституту Станіславського раднаргоспу в Івано-Франківську.

Основний період трудової діяльності Івана Миколайовича (1966–2010 рр.) пов'язаний з роботою в Українському науково-дослідному і проектному інституті нафтової промисловості (тепер ПАТ «Український нафтогазовий інститут») на посадах начальника нафтового відділу, заступника директора інституту з проектування, головного інженера – першого заступника директора інституту.

За безпосередньої участі та під керівництвом Івана Полівки були спроектовані десятки важливих нафтових об'єктів на території України, Білорусі, Казахстану, Росії та інших республік колишнього СРСР, а також в Іраку, Сирії, Кубі, Болгарії, Польщі. Він – кандидат технічних наук, опублікував в галузевих наукових журналах низку статей з питань видобування нафти й газу.

Упродовж багаторічної роботи в інституті на відповідальних посадах Іван Миколайович був символом взірцевого відношення до справи, вимогливого керівника. Відстоюючи засади професіоналізму, реалізовував сміливі ідеї в проектах, у науковій та організаційній діяльності інституту.

Іван Миколайович нагороджений орденами Трудового Червоного Прапора, «Срібний хрест» (Польща), медалями, почесними грамотами Міннафтопрому. Йому присвоєно почесне звання «Ветеран нафтогазової промисловості».

12 лютого 2017 р. відійшов у вічність Іван Миколайович Полівка.

Пішла від нас чуйна, добропорядна, яскрава особистість. Світла пам'ять назавжди залишиться у наших серцях.

Висловлюємо щирі співчуття родині з приводу тяжкої втрати.

Правління ПАТ «Український нафтогазовий інститут»,
редакція журналу «Нафтогазова галузь України», друзі, колеги по роботі