622.244(043)
Л 82

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
НАФТИ І ГАЗУ

ЛУБАН СЕРГІЙ ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК 622.244.442

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ БІОПОЛІМЕРНИХ БЕЗГЛИНИСТИХ БУРОВИХ РОЗЧИНІВ

05.15.10 – Буріння свердловин

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Івано-Франківськ – 2017

ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ
НАУКОВО-ТЕХНІЧНА БІБЛІОТЕКА

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Івано-Франківському державному технічному університеті нафти і газу

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
МИСЛЮК Михайло Андрійович,
професор кафедри буріння
нафтових і газових свердловин,
Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
КОЖЕВНИКОВ Анатолій Олександрович,
професор кафедри техніки розвідки
родовищ корисних копалин,
Національний гірничий університет, м. Дніпро

кандидат технічних наук
ЛАЗАРЕНКО Олександр Григорович,
керівник департаменту по бурінню
та свердловинним технологіям,
ПрАТ «Нафтогазвидобування», м. Полтава

Захист відбудеться "08" червня 2017 року о $10^{\underline{00}}$ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.02 при Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу за адресою: 76019, Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

З дисертацією можна ознайомитись у науково-технічній бібліотеці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу.

Автореферат розісланий "04" травня 2017 р.

Учений секретар спеціалізованої вченої ради,
кандидат технічних наук, доцент І. М. Ковбасюк

НТБ
ІФНТУНГ
an2655

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Концепцією розвитку газовидобувної галузі України на 2020 рік передбачено збільшення видобутку газу до 27 млрд м^3 і нарощення запасів до 33,8 млрд м^3. Для цього ПАТ «Укргазвидобування» має побудувати 657 нових свердловин і виконати 1518 операцій в капітальному ремонті, а приватні компанії мають побудувати 279 свердловин. Враховуючи суттєве виснаження старих родовищ (на 65 – 70 %), основні перспективи розвитку галузі у найближчі роки будуть залежати від темпів освоєння перспективних покладів на великих глибинах.

Успішність реалізації такого завдання у значній мірі пов'язана із застосуванням сучасних промивальних систем, здатних забезпечити ефективність буріння свердловин та високу якість розкриття продуктивних горизонтів. Таким вимогам відповідають безглинисті біополімерні бурові розчини, які, завдяки високій псевдопластичності, миттєвій тиксотропії, низькій фільтрації, кислоторозчинності твердої фази та здатності полімерних компонентів до біологічної деструкції, не мають альтернативи серед промивальних систем на водній основі. Саме ці властивості створюють передумови для проходження без ускладнень інтервалів залягання нестійких порід (в тому числі і похило-скерованими стовбурами свердловин), зон тріщинуватості і АНПТ, а також зменшення техногенного впливу на колекторські властивості продуктивних пластів та довкілля.

Проте впровадження безглинистих бурових розчинів на великих глибинах стикається з проблемами, пов'язаними з порівняно невисокою термічною стійкістю їх полімерної полісахаридної основи. В термобаричних умовах глибоких свердловин технологічні властивості безглинистих бурових розчинів суттєво змінюються і кардинально відрізняються від таких, що вимірюються на поверхні. Ці зміни зумовлені природною схильністю біополімерних систем до температурного розрідження, яке призводить до різкого зменшення реологічних і зростання фільтраційних характеристик. Внаслідок цього можуть виникати ускладнення та погіршуватися якість розкриття продуктивних пластів.

Таким чином, подальший розвиток буріння свердловин в Україні потребує розширення області використання біополімерних систем на великі глибини. Для цього необхідно проведення спеціальних досліджень, спрямованих на вивчення реологічних, структурно-механічних і фільтраційних властивостей в умовах високих тисків і температур, та розроблення і практичне відпрацювання технології їх спрямованого регулювання.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана згідно тематичних планів наукових досліджень Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу та відповідає державній галузевій програмі «Енергетична стратегія України на період до 2030 року» (розділи 1 і 6, пп. 1.1, 6.1.2 і 6.2.2).

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є підвищення ефективності

та розширення області використання біополімерних безглинистих бурових розчинів для буріння глибоких свердловин в умовах високих пластових температур.

Досягнення поставленої мети пов'язане з вирішенням таких основних задач досліджень:

1. Обґрунтування рецептур біополімерного безглинистого бурового розчину Біокар для умов високих пластових температур.

2. Розробка реагенту для регулювання технологічних властивостей біополімерного безглинистого бурового розчину Біокар в умовах високих пластових температур.

3. Дослідження реологічних, структурно-механічних і фільтраційних властивостей біополімерного безглинистого бурового розчину Біокар в умовах високих температур.

4. Розробка і промислове впровадження рецептур біополімерних безглинистих бурових розчинів Біокар на родовищах України.

Об'єктом дослідження дисертаційної роботи є системи біополімерних безглинистих бурових розчинів для буріння глибоких свердловин.

Предмет дослідження – технологічні властивості систем біополімерних безглинистих бурових розчинів.

Методи дослідження. Технологічні властивості біополімерних бурових розчинів вивчали за стандартними методами контролю. Реологічні властивості із урахуванням температурних умов досліджували на ротаційних віскозиметрах моделей 800, 900 і 1100 виробництва компанії OFI Testing Equipment, Inc. Обробку даних ротаційної віскозиметрії виконано з допомогою пакету програм «Rheometry» у класі реологічно стаціонарних моделей Ньютона, Шведова–Бінгама, Оствальда, Гершеля–Балклі, Шульмана–Кессона і бів'язких рідин. Фільтраційні властивості бурових розчинів у вибійних умовах визначали на приладі Dynamic HPHT Filter Press OFI в статичному і динамічному режимах через паперовий фільтр та керамічні диски різної проникності.

Для побудови моделей показників реологічних, структурно-механічних і фільтраційних властивостей від концентрацій реагентів і температури використано методи планування експериментів. Обробку результатів досліджень виконано на основі регресійного аналізу, статистичних процедур оцінювання та перевірки гіпотез.

Вплив бурових розчинів на якість розкриття продуктивних пластів оцінено на керновому матеріалі за результатами випробувань на УДПК та її аналогах.

Наукова новизна одержаних результатів

1. За результатами досліджень реологічних і фільтраційних властивостей біополімерних безглинистих бурових розчинів в умовах високих температур (до 150 °С) обґрунтовано використання температури T_m плавлення упорядкованої структури полімеру як критерію термічної стійкості.

2. Вперше виявлено позитивний вплив білкових речовин на технологічні властивості біополімерних систем для умов високих температур. Встановлено їх ущільнюючу дію на фільтраційну кірку та уповільнення процесів температурного розрідження.

3. Виявлено синергетичне підсилення інгібуючої дії хлориду калію при його суміщенні з хлоридом натрію. Показано, що інгібуюча дія полівалентних солей при концентраціях понад 25 – 30 % перевищує ефект від застосування хлориду калію.

4. Одержано регресійні моделі для показників реологічних, структурно-механічних і фільтраційних властивостей біополімерної системи Біокар залежно від концентрацій хлориду натрію і реагенту Алеврон при температурах до 150 °С.

Практичне значення одержаних результатів полягає у розширенні області використання біополімерних безглинистих бурових розчинів та розробці технології регулювання їх фільтраційних і реологічних властивостей в умовах високих температур (до 150 °С).

Особистий внесок здобувача. Основні результати дисертації одержано здобувачем самостійно [10, 11].

Автором запропоновано використання як критерію термостійкості біополімерних безглинистих бурових розчинів температури T_m плавлення упорядкованої структури полімеру, виявлена здатність білкових речовин ущільнювати фільтраційну кірку і зменшувати температурне розрідження біополімерних систем, встановлена наявність синергетичної взаємодії між солями та білковими речовинами, яка покладена в основу удосконаленої рецептури безглинистого бурового розчину Біокар-МТ для буріння глибоких свердловин. Розроблено та впроваджено у виробництво новий органо-мінеральний реагент Алеврон для регулювання реологічних і фільтраційних властивостей у вибійних умовах.

Особистий внесок у працях, опублікованих у співавторстві з О.А. Білекою, В.В. Богославцем, А.Г. Бойком, В.В. Дудзичем, Н.Р. Жолобом, Л.І. Клебан, В.Ф. Коваленко, Д.М. Крульом, Я.І. Куликом, Я.В. Кунцяком, А.Т. Левченком, Ю.В. Лубаном, С.О. Ляшенком, М.А. Мислюком, С.Г. Михайленком, О.І. Політучим, А.Г. Розенгафтом, В.Г. Семенюком, Т.І. Собакар, І.І. Сушинським, Є.Я. Трофімовим, І.Ю. Харівим і Р.С. Яремійчуком, такий.

Розроблено рецептуру біополімерного безглинистого бурового розчину Біокар, технологію його приготування та регулювання властивостей [1, 12].

На основі проведених досліджень і запропонованого критерію термостійкості визначено граничні вибійні температури застосування систем біополімерних бурових розчинів залежно від концентрації водорозчинних солей в їх складі [6, 14].

Досліджено інгібуючі властивості індивідуальних солей та їх композицій. Встановлено підсилення інгібуючої дії композицій солей на глинисті породи у порівнянні з дією індивідуальних солей [4, 14].

Досліджено в умовах високих температур вплив полімерних реагентів і матеріалів на технологічні властивості біополімерних систем [2, 3, 5, 13].

Розроблено та впроваджено у виробництво удосконалену рецептуру біополімерного безглинистого бурового розчину Біокар-МТ. Вивчено вплив концентрацій хлориду натрію і реагенту Алеврон на реологічні, структурно-механічні і фільтраційні властивості біополімерної системи Біокар-МТ при температурах до 150 °С [7, 8, 9].

Апробація роботи. Основні положення дисертації доповідались та обговорювались на XIV Міжнародній науково-практичній конференції «Эфиры целлюлозы и крахмала, другие химические реагенты и материалы в эффективных технологических жидкостях для строительства, эксплуатации и капитального ремонта нефтяных и газовых скважин» (г. Суздаль, 2010 г.); на Міжнародній науково-технічній конференції «Нафтогазова освіта та наука: стан та перспективи» присвяченій 70-річчю газонафтопромислового факультету (м. Івано-Франківськ, 10 – 12 грудня 2014 р.); на науково-технічній конференції «Повышение эффективности бурения и эксплуатации скважин в сложных горно-геологических условиях Семиренковского и Мачухского газоконденсатных месторождений» (г. Полтава, 15 декабря 2014 г.); на IV Міжнародній науково-технічній конференції «Нафтогазова енергетика 2015» (м. Івано-Франківськ, 21 – 24 квітня 2015 р.); X Międzynarodowa Konferencja Geopetrol 2016 nt.: «Współpraca nauki i przemysłu w rozwoju poszukiwań i eksploatacji złóż węglowodorów» (Zakopane-Kościelisko, 19 – 22.09.2016 г.).

У повному обсязі робота доповідалась на наукових семінарах кафедри буріння нафтових і газових свердловин ІФНТУНГ (травень, листопад 2016 р.).

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 14 наукових праць, з яких 8 у фахових наукових журналах (в т. ч. 3 у зарубіжних виданнях), 5 у збірниках праць науково-практичних конференцій, 1 патент України на винахід.

Структура і обсяг роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, п'яти розділів, основних висновків, списку використаної літератури і додатків. Обсяг дисертації становить 185 сторінок, у тому числі 39 таблиць та 61 рисунок. Список використаних джерел налічує 145 найменувань. Обсяг додатків становить 31 сторінку.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність обраної теми дисертаційної роботи, сформульовано мету і задачі дослідження, відображено наукове та практичне значення отриманих результатів.

У першому розділі показано, що біополімерні безглинисті бурові розчини з тиксотропними властивостями – це сучасні промивальні системи, які на даний час у значній мірі визначають технічний прогрес технології буріння нафтогазових

свердловин. Їх створення стало результатом довгого шляху розвитку хімії промивальних рідин, спрямованого на отримання оптимальних для бурового процесу реологічних, структурно-механічних та фільтраційних властивостей бурових розчинів.

Вагомий внесок у дослідження фундаментальних фізико-хімічних процесів, що протікають у свердловині та в зоні навколо неї, стосовно питань стійкості стінок стовбура, гідродинаміки промивання і очищення вибою, якісного розкриття продуктивних горизонтів, зробили В.А. Аміян, А.М. Ананьєв, О.К. Ангелопуло, В.С. Баранов, А.І. Булатов, А.О. Васильченко, В.Г. Вітрик, В.С. Войтенко, В.Д. Городнов, Дж.Р. Грей, О.М. Давиденко, К.Ф. Жигач, С.Ю. Жуховицький, Е.Г. Кістер, А.О. Кожевников, В.І. Крилов, М.М. Круглицький, Я.В. Кунцяк, Є.Г. Леонов, М.І. Ліпкес, А.Х. Мирзаджанзаде, М.А. Мислюк, Л.К. Мухін, Ф.Д. Овчаренко, К.Ф. Паус, П.А. Ребіндер, В.І. Рябченко, А.Г. Розенгафт, У.Л. Скальська, Н.Х. Тітаренко, І.Ю. Харів та інші дослідники. Їх роботи стали підґрунтям для зменшення вмісту, а згодом, і повного виключення глинистої компоненти зі складу бурових розчинів, що призвело до оптимізації режимів промивання свердловин, поліпшення якості розкриття продуктивних горизонтів та підвищення швидкості буріння.

Альтернативою глинистим матеріалам стали біополімерні реагенти на основі ксантанової камеді, водні розчини яких характеризуються надвисоким рівнем псевдопластичності та миттєвою тиксотропією. У більшості рецептур безглинистих бурових розчинів покладено взаємодію між молекулами ксантанового біополімеру та етерифікованих форм крохмалю або целюлози, наслідком якої є утворення просторової тиксотропної структури, забезпечення низької фільтрації та надання системам унікальних реологічних характеристик. Біополімерні безглинисті бурові розчини мають однаковий за призначенням полісахаридний компонентний склад, дуже схожі технологічні властивості та використовують подібні методи їх регулювання. Певні відмінності, що наявні в рецептурах різних виробників є такими, що суттєво не впливають на їх основні технологічні показники.

Отже є підстави вважати, що результати досліджень і закономірності, які встановлені для однієї із безглинистих систем, будуть справедливими для інших. Відповідно, це дозволяє проводити дослідження на одній моделі бурового розчину, наприклад біополімерній системі Біокар, що широко застосовується в Україні, а результати поширювати на інші подібні системи.

Важливими при виборі рецептур безглинистих бурових розчинів для буріння глибоких свердловин є вимоги до реологічних і фільтраційних властивостей у вибійних умовах (НРНТ). Властивості біополімерних безглинистих бурових розчинів добре вивчено при температурах до 100 °С, але цього недостатньо для застосування таких систем на деяких родовищах Дніпровсько-Донецької западини (ДДз) з пластовими температурами 120 – 140 °С і вище.

Обмеження показника фільтрації безглинистих бурових розчинів у проникні

пласти досягається за рахунок дрібнодисперсних мармурових кольматантів, розмір частинок яких підбирається за спеціальними математичними моделями і потребує точної інформації про порову структуру колектора. В умовах неоднорідних і шаруватих покладів родовищ України така методика неефективна.

Альтернативою є використання композитних кольматантів, що додатково містять органічні пружні речовини. Такий метод вагомо підвищує кольматуючу здатність реагентів. Проте його ефективність знижується при порушенні співвідношення між мінеральними і органічними компонентами, особливо при високих температурах, де проявляється ефект термічного розрідження полімерів. Найбільш гострою є проблема регулювання НРНТ фільтрації обважнених безглинистих бурових розчинів, яка потребує розробки реагента-наповнювача для ущільнення фільтраційної кірки, утвореної переважно однорідними та порівняно великими частинками обважнювача.

Ступінь температурного розрідження ксантанової камеді понижується зі збільшенням мінералізації розчину. Механізм термостабілізуючої дії солей пов'язаний із зменшенням сили електростатичного відштовхування між молекулярними ланцюгами та підсиленням процесів формування упорядкованої полімерної структури в системі. В результаті мінералізований розчин ксантанового біополімеру виявляється більш ущільненим на молекулярному рівні, за рахунок чого і відбувається протидія процесам температурного розрідження.

З цього витікає важливий практичний висновок – регулювати термостійкість біополімерних безглинистих систем можна зміною концентрації солей в їх складі. Одночасно підвищення мінералізації призводить до зростання густини біополімерних безглинистих розчинів, їх інгібуючих та бактерицидних властивостей, що може бути використане в рецептурах системи для буріння глибоких свердловин.

Другий розділ присвячений обґрунтуванню рецептур біополімерної системи Біокар для умов високих температур та вивченню їх технологічних властивостей.

За результатами лабораторних і промислових досліджень обґрунтовано базові рецептури біополімерних безглинистих бурових розчинів. Система Біокар густиною 1090 – 1180 кг/м^3 призначена для буріння свердловин глибиною до 3000 м і температурах до 110 – 120 °С, а мінералізована система Біокар густиною 1180 – 1490 кг/м^3 – для буріння свердловин глибиною до 4500 – 5500 м і температурах до 130 – 140 °С. Організовано виробництво комплексного реагенту Біокар-компаунд – полімерної основи систем Біокар.

Вивчено технологічні властивості біополімерної системи Біокар при високих температурах. Для оцінки термостійкості біополімерних безглинистих систем на основі реологічних досліджень з допомогою ротаційної віскозиметрії запропоновано температуру T_m, яка відповідає плавленню упорядкованої полімерної структури рідини і визначається як точка перегину кривої залежності напруження зсуву від

температури. Показано, що величина температури T_m є незмінною для кожної конкретної біополімерної системи і не залежить від частоти обертання ротора віскозиметра (рис. 1). Фактично величина T_m є температурою початку процесу термічної деструкції полісахаридних полімерів.

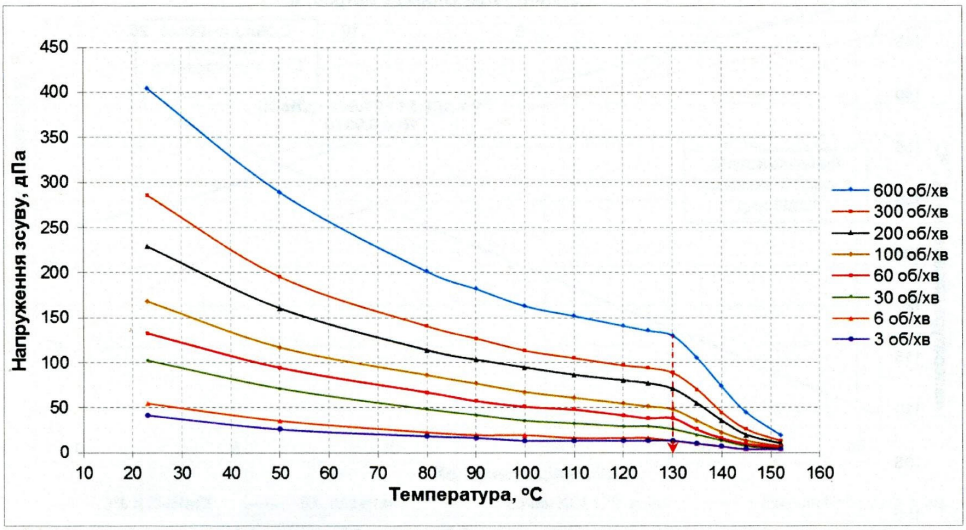

Рисунок 1 – Залежність напруження зсуву біополімерної системи Біокар (15 % NaCl) від температури для різних частот обертання

Перевищення температури T_m не призводить до миттєвої і повної руйнації системи. Але при пластових температурах вищих за величину T_m біополімерна безглиниста система швидко переходить у нестабільний стан, що, в першу чергу, проявляється у пониженні реологічних властивостей та зростанні показника вибійної фільтрації. І, навпаки, у межах визначеної термічної стабільності біополімерні безглинисті системи майже не змінюють свої параметри у часі та не потребують додаткових обробок.

Із підвищенням мінералізації біополімерної системи Біокар температура T_m зростає, що вказує на розширення діапазону його термічної стабільності. Для керування її термостійкістю запропоновано використовувати добавки окремих солей та їх композицій. Встановлено, що найбільш ефективною термостабілізуючою добавкою до систем біополімерних бурових розчинів є хлорид натрію. При його граничному вмісті на межі розчинності, що складає 25 – 27 %, термостійкість біополімерної системи досягає 140 °С. Таким чином, для відповідності температурним умовам глибоких свердловин (понад 110 °С) біополімерна система має вміщувати певну кількість солей. Мінімально необхідною є концентрація солей, при якій температура плавлення T_m біополімерної системи перевищує температуру

на вибої свердловини. Побудовано графік залежності температури T_m від концентрації солі, що дозволяє оцінювати відповідність рівня мінералізації біополімерного бурового розчину термобаричним умовам свердловини (рис. 2).

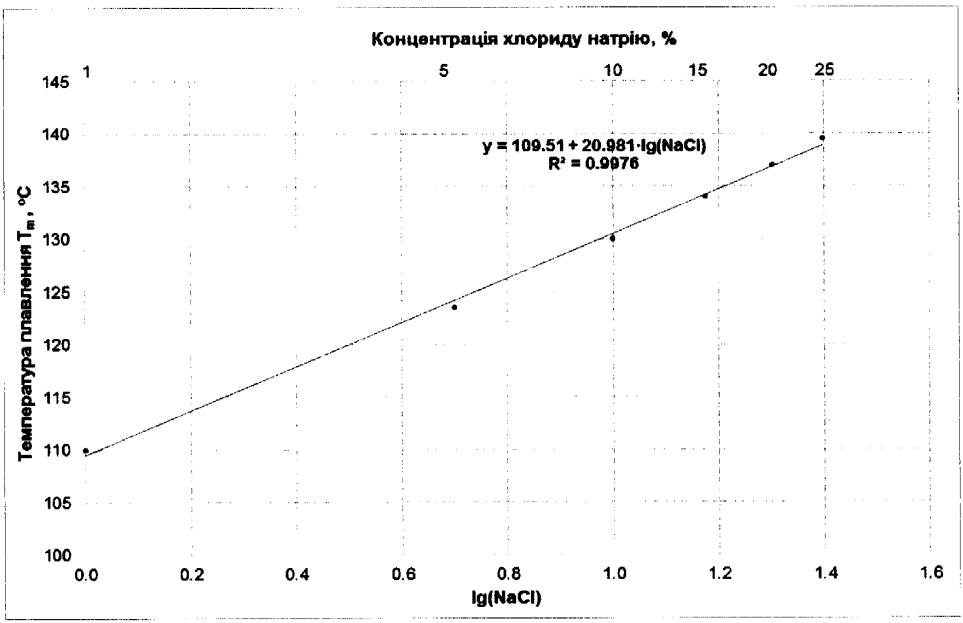

Рисунок 2 – Залежність температури плавлення T_m біополімерної системи Біокар від концентрації хлориду натрію

Застосування солей інших типів з метою підвищення термостійкості біополімерних рідин є менш ефективним та більш витратним. Проте така технологічна можливість існує, що може бути використано для підвищення густини біополімерних безглинистих бурових розчинів і стійкості стінок свердловин. Зокрема, вивчалися рецептури біополімерної системи Біокар, обважненої хлоридом та нітратом кальцію. Гранична густина таких систем (відповідно 1360 і 1480 кг/м^3) вища, ніж для хлориду натрію. Проте температура плавлення T_m є меншою і не перевищує 130 °С.

Досліджено вплив солей та їх композицій на інгібуючі властивості біополімерної системи Біокар. Встановлено, що полівалентні солі при низьких концентраціях поступаються традиційному інгібітору хлориду калію, проте із зростанням концентрацій їх інгібуючий вплив на гірські породи вагомо підвищується та при вмісті понад 25 – 30 % перевищує ефективність хлориду калію. Спільне застосування хлоридів калію і натрію призводить до синергетичного підсилення інгібуючої дії біополімерних систем до рівня стійкості породи, який

неможливо досягнути при індивідуальному застосуванні кожної з таких солей (рис. 3).

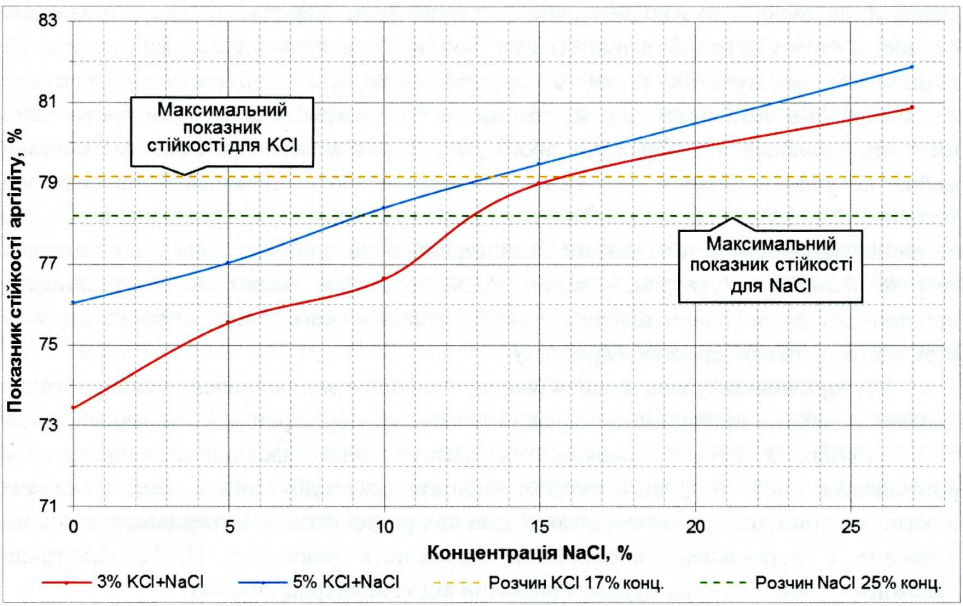

Рисунок 3 – Підвищення стійкості аргіліту (Rolling Test) при спільному застосуванні хлоридів калію і натрію

Збільшення мінералізації біополімерних безглинистих бурових розчинів підвищує їх ферментативну стійкість, що за певних концентрацій солей дає можливість відмовитися від застосування реагентів-бактерицидів. Для біополімерної системи Біокар визначена мінімальна концентрація хлориду натрію 15 %, для якої ознаки ферментативного розкладання системи відсутні понад три місяці.

Таким чином, збільшення рівня мінералізації біополімерних бурових розчинів, яке в першу чергу викликане необхідністю підвищення термостійкості, одночасно збільшує їх густину, є потужним засобом для забезпечення стійкості глинистих порід і нетоксичного інгібування ферментативних процесів. При цьому підвищення температури плавлення T_m, яке характерне при введенні солі в біополімерну систему, не супроводжується зростанням її реологічних властивостей в термобаричних умовах свердловини, для чого необхідне застосування інших спеціальних методів.

Третій розділ присвячений розробці органо-мінерального реагенту Алеврон для керування реологічними і фільтраційними властивостями безглинистих бурових розчинів в умовах високих температур.

НРНТ фільтрація біополімерних безглинистих бурових розчинів має низку відмінностей від фільтрації традиційних глинистих розчинів, що зумовлено складом, дисперсністю і концентрацією твердої фази. Через малий вміст колоїдної глинистої фази у складі безглинистих систем (яка присутня лише як забруднюючий компонент) формування кірки в процесі фільтрації відбувається переважно слабогідратованими, порівняно крупними та близькими за розмірами частинками інертних наповнювачів – мармуру або бариту. Кірка, утворена такими частинками, майже не ущільнюється в часі та нагадує каркас або сітку, вільний простір якої заповнений в'язким полімером. Тобто, на відміну від глинистих розчинів, полімерні компоненти безглинистої системи безпосередньо не впливають на стан частинок твердої фази при утворенні кірки. Роль полімерів зводиться до зменшення проникності рихлої кірки шляхом створення надвисокого фільтраційного опору у вузьких зазорах міжзернового простору

За нормальних умов, коли в'язкість біополімерної системи знаходиться на високому рівні, проникність кірки і показник фільтрації є низькими. При вимірюваннях в умовах високих температур, коли внаслідок температурного розрідження в'язкість рідини суттєво зменшується, відбувається різке зростання показника фільтрації аж до повного відділення рідкої фази. Підтвердженням такого уявлення є встановлена пропорційна залежність показника НРНТ фільтрації обважнених безглинистих бурових розчинів від концентрації бариту.

Таким чином, для забезпечення низького рівня показника НРНТ фільтрації біополімерних безглинистих систем необхідно понизити проникність кірки та підтримати достатні реологічні властивості рідини в умовах високих температур. Відповідно, ефективними регуляторами показника НРНТ фільтрації безглинистих бурових розчинів будуть полімерні речовини, що забезпечують кольматацію та ущільнення пористого середовища кірки, а також підвищення гідравлічного опору руху рідини в поровому просторі.

Аналіз літературних джерел показав, що білкові речовини, які мають обмежену розчинність у воді, здатні ущільнювати дисперговані частинки грунту при його пресуванні та надавати отриманим зразкам додаткової міцності. Було зроблене припущення, що такі властивості білків можна використати для зменшення проникності фільтраційних кірок безглинистих біополімерних бурових розчинів при високих температурах.

Вивчали рослинні білки злакових та бобових культур (пшениці, кукурудзи, ячменю, сої, гороху тощо) і тваринні білки, які хімічно переводилися у слаборозчинну форму. Встановлено, що добавки білкових речовин призводять до загального покращання технологічних властивостей безглинистих систем, які піддаються дії високих температур. При цьому вплив різних білків характеризується відмінностями, зумовленими їх будовою та хімічним складом. Так певні білки краще зменшують НРНТ фільтрацію, інші – більш ефективно впливають на

реологічні властивості та СНЗ, а деякі спрямовано виконують функції кольматанта.

На підставі проведених досліджень для реалізації функцій регулятора реологічних і фільтраційних властивостей біополімерних безглинистих бурових розчинів в умовах високих температур розроблено органо-мінеральний реагент Алеврон, основою якого є тонкодисперсна суміш рослинних білків злакових і бобових культур у поєднанні з мінеральним та органічними наповнювачами. Організовано виробництво реагенту за ТУ У 20.1-34962841-009:2014 та його впровадження в галузь.

Вивчено властивості реагенту Алеврон, особливості його диспергування та гідратації під час обробки біополімерних безглинистих бурових розчинів. За результатами досліджень впливу реагенту на технологічні властивості системи Біокар визначено його раціональні концентрації 1 – 1,5 %.

Встановлено, що із збільшенням вмісту реагенту Алеврон реологічні властивості біополімерної системи Біокар зростають, а величина температури T_m за інших однакових умов знаходиться на одному рівні, тобто поріг термостійкості не підвищується (рис. 4). Показано можливість використання реагенту Алеврон при концентраціях 2 % і більше для підтримування реологічних властивостей біополімерних систем при температурах за межею термостійкості.

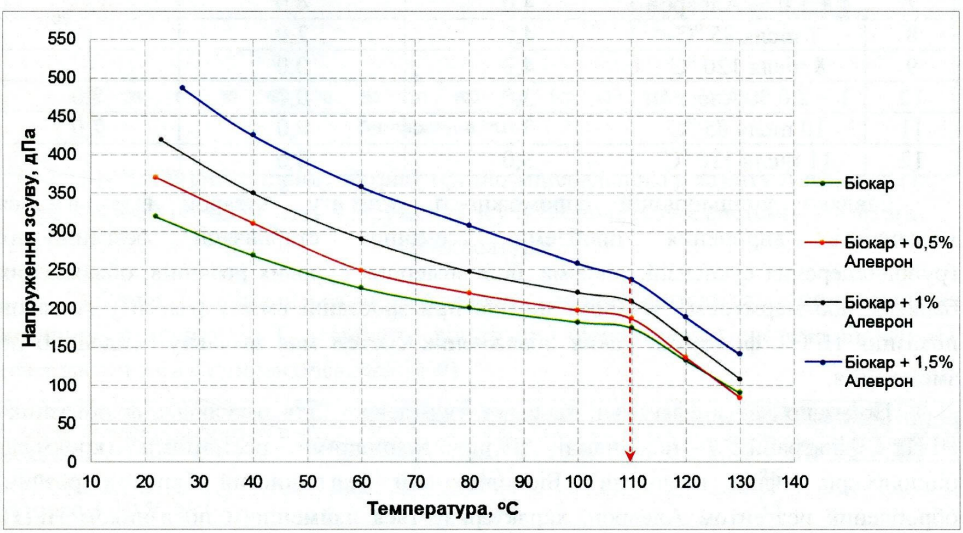

Рисунок 4 – Криві залежності напруження зсуву від температури біополімерної системи Біокар із різним вмістом реагенту Алеврон

Вивчено вплив реагенту Алеврон на показники НРНТ фільтрації біополімерної системи Біокар (табл. 1). Встановлено, що залежно від концентрації реагенту показник фільтрації може бути постійним або знижуватися зі збільшенням

перепаду тиску внаслідок пластичного ущільнення фільтраційної кірки. Особливістю дії реагенту Алеврон є низька проникність фільтраційних кірок, висока швидкість їх утворення та міцність. Кірка майже не піддається ерозійному впливу потоку бурового розчину.

Таблиця 1 – Вплив реагенту Алеврон на показники фільтрації біополімерної системи Біокар

Дослід	Склад системи, дослід	Фільтрація, $см^3$/30 хв		
		при Т = 20 ± 5 °С		НРНТ через паперовий фільтр при Т = 130 °С і Δр = 5 МПа
		через паперовий фільтр Δр = 0,1 МПа	через модель піщаного фільтра Δр = 0,7 МПа	
1	Біокар	4,0	12,1	17,0
2	1 після 85 °С	4,5	12,0	–
3	2 після 120 °С	3,0	–	–
4	1 + 0,5 % Алеврон	4,0	10,5	16,5
5	4 після 85 °С	4,0	8,0	–
6	5 після 120 °С	4,0	9,0	–
7	1 + 1,0 % Алеврон	4,0	4,0	12,0
8	7 після 85 °С	4,0	2,0	–
9	8 після 120 °С	4,0	0,0	–
10	1 + 2,0 % Алеврон	3,5	0,0	8,0
11	10 після 85 °С	3,0	0,0	7,0
12	11 після 120 °С	3,0	0,0	–

Завдяки ущільнюючій спроможності реагенту Алеврон відкривається можливість вирішення проблеми термічної стабілізації безглинистих грубодисперсних суспензій, зокрема, біополімерних бурових розчинів, обважнених баритом або мармуром. Встановлено, що при зростанні вмісту реагенту Алеврон показник НРНТ фільтрації таких обважнених систем має загальну тенденцію до зменшення.

Показано вищу ефективність реагенту Алеврон для регулювання показника НРНТ фільтрації у порівнянні з полісахаридними реагентами (крохмалі, біополімери, ефіри целюлози). Біополімерний безглинистий буровий розчин, оброблений реагентом Алеврон, характеризується найменшим показником НРНТ фільтрації та мінімальним проникненням рідини через модель пористого середовища.

Четвертий розділ присвячений розробці концепції рецептур біополімерного безглинистого бурового розчину Біокар-МТ та дослідженню їх реологічних, структурно-механічних і фільтраційних властивостей в умовах високих пластових температур.

За результатами досліджень виявлено два механізми регулювання реологічних і фільтраційних властивостей біополімерної системи Біокар в умовах високих температур – використання органо-мінерального реагенту Алеврон та підвищення мінералізації системи. Перший механізм призводить до підвищення реологічних властивостей, але не збільшує межу термічної деструкції. Другий механізм, навпаки, практично не впливає на реологічні властивості, але збільшує межу температурної стійкості (рис. 5).

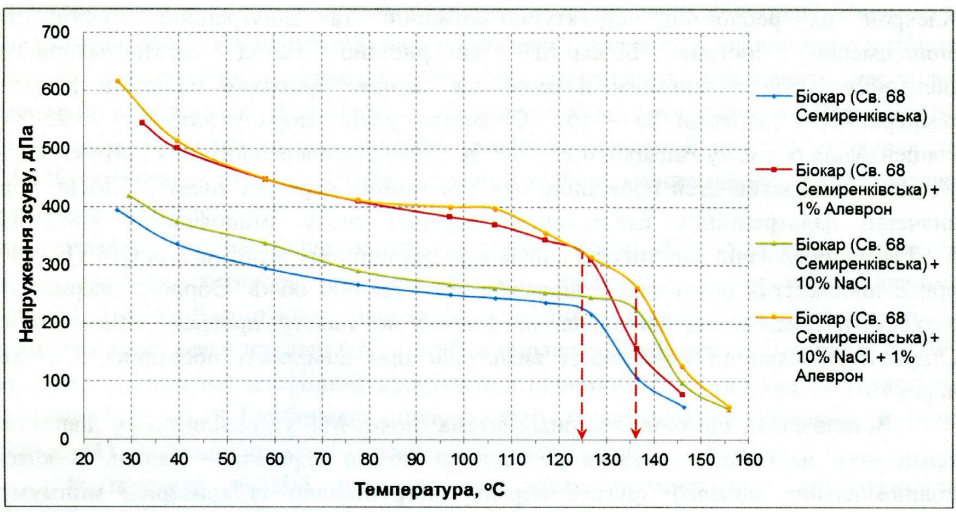

Рисунок 5 – Вплив хлориду натрію, органо-мінерального реагенту Алеврон та їх композиції на залежність напруження зсуву біополімерної системи Біокар від температури

Таблиця 2 – Вплив реагенту Алеврон, хлориду натрію та їх композиції на величину температури T_m і вибійну фільтрацію біополімерної системи Біокар-МТ (свердловина 68 Семиренківського ГКР)

Склад системи	Температура T_m, °С	Фільтрація НРНТ ($см^3$/30 хв) при Т = 135 °С і Δр = 5 МПа
Біокар	125	36
Біокар + 10 % NaCl	136	35
Біокар + 1 % Алеврон	125	17
Біокар + 1 % Алеврон + 10 % NaCl	136	15

Поєднання цих механізмів покладено в основу розробки удосконаленої рецептури біополімерного бурового розчину Біокар-МТ (мінералізований, термостійкий), що відповідає геотермальним умовам буріння глибоких свердловин на родовищах України. Відмінною особливістю такої рецептури є обов'язковий

вміст солі (найчастіше хлориду натрію) у поєднанні з реагентом Алеврон. Встановлено, що спільне використання солі та реагенту Алеврон сприяє зростанню межі термічної стійкості і реологічних властивостей та забезпеченню низьких показників НРНТ фільтрації системи Біокар-МТ в умовах високих пластових температур (рис. 5, табл. 2). При цьому концентрації цих компонентів можуть змінюватися залежно від термобаричних умов в свердловині.

Для оцінки впливу температури, концентрацій хлориду натрію і реагенту Алеврон на реологічні, структурно-механічні та фільтраційні властивості біополімерної системи Біокар-МТ використано метод багатофакторного експерименту за латинським планом для змінних факторів на п'яти рівнях: температура в діапазоні 25 – 150 °С; концентрація хлориду натрію 5 – 25 %; концентрація реагенту Алеврон 0,25 – 1,5 %. Дослідження реологічних і структурно-механічних властивостей проводили при постійному перепаді тиску 1,5 МПа; при вивченні фільтраційних властивостей перепад тиску змінювали в діапазоні 3 – 7 МПа. Реологічні властивості вивчали на ротаційному віскозиметрі OFI TE 1100 при 8 швидкостях обертання у діапазоні від 3 до 600 об/хв. Обробка одержаних результатів досліджень виконана за допомогою пакету програм «Rheometry». Структурно-механічні властивості визначали при швидкості обертання 3 об/хв через 10 с, 1 і 10 хв.

Встановлено, що біополімерна система Біокар-МТ у дослідженому діапазоні температур найбільш адекватна реологічній моделі Гершеля – Балклі. В класі поліноміальних моделей другого порядку обґрунтовано за критерієм мінімуму дисперсії адекватності селективний вибір рівнянь стану для показників реологічних, структурно-механічних і фільтраційних властивостей залежно від концентрацій хлориду натрію та реагенту Алеврон і температури, що забезпечує можливість їх використання в задачах вибору оптимальних рецептур біополімерної системи Біокар-МТ для конкретних умов буріння свердловин.

Зокрема, оцінено вплив температури на показники найбільш адекватної реологічної моделі та СНЗ для різних співвідношень реагентів. Встановлено, що загальними тенденціями внаслідок температурної дії є: нелінійне зменшення динамічного та статичного напружень зсуву; нелінійне зростання показника нелінійності; близьке до лінійного зменшення міри консистенції. На характер зміни реологічних та структурно-механічних властивостей збільшення концентрацій компонентів системи практично не впливає.

Результати досліджень структурно-механічних властивостей біополімерної системи Біокар-МТ вказують на високу швидкість утворення тиксотропної структури та порівняно невеликі значення показників її міцності. Встановлено, що для низьких концентрацій хлориду натрію та реагенту Алеврон в умовах високих температур структурно-механічні властивості системи надто низькі, що може створювати небезпеку виникнення ускладнень при бурінні. Для запобігання таким

процесам за конкретних температур визначена область концентрацій хлориду натрію і реагенту Алеврон, де забезпечується мінімально допустима величина показника СНЗ за 10 с. Такі співвідношення концентрацій існують навіть при 150 °С, що вказує на відповідність бурового розчину Біокар-МТ температурному діапазону досліджень та можливість керування його властивостями за таких умов.

Встановлено нелінійний характер зростання показника фільтрації від температури. Для високих концентрацій хлориду натрію і реагенту Алеврон спостерігається зменшення впливу температури на показник фільтрації. Визначено допустимі області концентрацій хлориду натрію і реагенту Алеврон для постійних значень температури і перепаду тиску, що дозволяють забезпечити необхідні величини показників фільтрації в умовах вибою свердловини. Встановлено можливість ефективного регулювання показника фільтрації при температурах до 150 °С і перепадах тиску до 7 МПа за рахунок підбору концентрацій хлориду натрію і реагенту Алеврон.

Вивчено вплив біополімерної системи Біокар-МТ на якість розкриття продуктивних горизонтів. За результатами досліджень на зразках піщаника (св. 52, Східно-Рогінцівське родовище) коефіцієнт відновлення проникності за повітрям знаходився на рівні 0,87 – 0,96, а піщаника Szydlowiecki (компанія PSPW, м. Кросно, Польща) коефіцієнт відновлення проникності за газовим конденсатом становив 0,94 – 0,98. Глибина проникнення твердих частинок біополімерної системи Біокар-МТ всередину порового простору керна складала 0 – 0,5 мм.

В п'ятому розділі наведено результати промислового впровадження біополімерних систем Біокар при бурінні глибоких свердловин на родовищах ДДз.

Промисловими впровадженнями біополімерної системи Біокар-МТ, що проводилися у 2014 – 2016 роках при бурінні 13 свердловин та 8 свердловин у капітальному ремонті, підтверджено її високі інгібуючі та ізолюючі властивості в умовах високих тисків і температур.

Розроблена технологія керування технологічними властивостями біополімерної системи Біокар-МТ забезпечує стійкість стінок свердловин при значно менших значеннях густини, ніж в альтернативних бурових розчинах та розкриття проникних пластів без поглинань в умовах надвисоких репресій (до 54 МПа).

Підтверджено зростання інгібуючого впливу на гірські породи при застосуванні біополімерної системи Біокар з полісольовим складом фільтрату. Зокрема обважнення її хлоридом кальцію забезпечує умови для успішного розкриття нестійких зон аномально високих порових тисків із тектонічними порушеннями.

Важливим фактором для якісного розкриття продуктивних пластів є відповідність біополімерної системи термічним умовам свердловини, що потребує підтримування належного рівня їх мінералізації. Виконання даної умови забезпечує

стабільність технологічних властивостей та зменшує техногенний вплив на колектор. У випадку перевищення межі температурної стійкості властивості біополімерної системи мають тенденцію до погіршення, що може призвести до ускладнень. Роботи в таких умовах вимагають мінімальних строків їх виконання, ретельного контролю та оперативного регулювання технологічних властивостей, збільшення витрат хімічних реагентів.

Біополімерна система Біокар-МТ із використанням реагенту Алеврон забезпечує високу якість розкриття продуктивних горизонтів за пластових температур, критичних для полісахаридних реагентів. На всіх свердловини, де впроваджена розроблена рецептура біополімерної системи Біокар-МТ, одержано промислову продукцію.

За результатами промислового впровадження можна констатувати підтвердження на практиці теоретичних положень і основних результатів дисертаційної роботи. Розширення області застосування біополімерних безглинистих бурових розчинів на великі глибини досягнуто за рахунок підвищення їх термічної стійкості, збільшення мінералізації і використанням спеціального реагенту Алеврон. Розроблений на основі такого підходу буровий розчин Біокар-МТ відповідає умовам буріння глибоких свердловин при високих температурах і на даний час використовується на родовищах України.

ВИСНОВКИ

Дисертація є закінченою науково-дослідною роботою, в якій на основі синергетичної взаємодії солей і білкових речовин підвищено термічну стійкість систем біополімерних безглинистих бурових розчинів до 150 °С та розроблено технологію регулювання їх властивостей в умовах високих температур. Одержано такі основні висновки.

1. Запропоновано критерій термічної стійкості безглинистих біополімерних систем – температуру T_m плавлення упорядкованої полімерної структури або початку її термічної деструкції, яка визначається точкою перегину кривої залежності напруження зсуву від температури за постійної частоти обертання ротаційного віскозиметра.

Показано, що із зростанням рівня мінералізації біополімерної системи температура T_m збільшується і для хлориду натрію досягає 140 °С, а для полівалентних солей (хлориду кальцію, нітрату кальцію) не перевищує 130 °С. Підвищення температури T_m при введенні солей не супроводжується зростанням реологічних властивостей біополімерних систем у вибійних умовах.

2. Мінералізовані біополімерні системи характеризуються підвищеними інгібуючими властивостями, ферментативною стійкістю і густиною. Спільне застосування хлоридів калію і натрію синергетично підсилює інгібуючу дію біополімерних систем, яка для полівалентних солей при концентраціях понад

25 – 30 % перевищує ефект від застосування хлориду калію. У системі Біокар із ступенем мінералізації 15 % не виявлено ознаків ферментативної деструкції протягом трьох місяців.

3. Показано, що пониження показника фільтрації біополімерних безглинистих бурових розчинів виникає внаслідок зменшення проникності кірки, складеної переважно грубодисперсними частинками слабо гідратованих інертних наповнювачів. Полімерні речовини, що кольматують і ущільнюють пористе середовище кірки та підвищують гідравлічний опір в ньому, є ефективними регуляторами показника фільтрації у вибійних умовах.

4. Виявлено позитивний вплив білкових речовин на технологічні властивості біополімерних систем і встановлено їх ущільнюючу дію на фільтраційну кірку та уповільнення процесів розрідження в умовах високих температур. Розроблено, організовано виробництво та впроваджено у галузі термостійкий органо-мінеральний реагент Алеврон для регулювання реологічних і фільтраційних властивостей біополімерних безглинистих систем (в тому числі обважнених) у вибійних умовах.

5. Розроблено рецептуру біополімерного безглинистого бурового розчину Біокар-МТ для буріння свердловин в умовах високих пластових температур, яка ґрунтується на спільному застосуванні солей і реагенту Алеврон та за рахунок синергетичного ефекту підтримує необхідний рівень термічної стійкості. Технологічні властивості системи Біокар-МТ регулюють зміною концентрацій солей і реагенту Алеврон.

На основі досліджень реологічних, структурно-механічних і фільтраційних властивостей біополімерної системи Біокар-МТ при температурах до 150 °С побудовано регресійні моделі, які дозволяють прогнозувати їх зміну залежно від концентрацій реагентів і температур та обґрунтовувати вибір оптимальних рецептур для конкретних умов буріння.

6. Промислове впровадження рецептури біополімерної системи Біокар-МТ проведено при бурінні (13 свердловин) та капітальному ремонті (8 свердловин) у складних геолого-технічних умовах родовищ ДДз. Підтверджено високу ефективність системи Біокар при розбурюванні несумісних інтервалів буріння із нестійкими відкладами з АВПТ та виснаженими продуктивними горизонтами з АНПТ, зростання інгібуючого впливу на гірські породи при застосуванні біополімерної системи з полісольовим складом фільтрату, а також якості розкриття продуктивних пластів в умовах високих температур.

ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ НАУКОВО-ТЕХНІЧНА БІБЛІОТЕКА

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. БІОКАР – безглиниста промивальна рідина для буріння похило-скерованих і горизонтальних свердловин та розкриття продуктивних горизонтів / [Ю.В. Лубан, Я.В. Кунцяк, С.В. Лубан, О.А. Білека, Д.М. Круль, Я.І. Кулик] // Нафтова

і газова промисловість. – 2008. – № 4. – С. 18 – 21.

2. Буферна рідина для цементування обсадних колон / [А.Г. Розенгафт, Ю.В. Лубан, І.Ю. Харів, С.Г. Михайленко, С.В. Лубан] // Нафтова і газова промисловість. – 2002. – № 4. – С. 31, 32.
3. До питання кольматації проникних пластів при використанні безглинистих промивальних рідин / [Я.В. Кунцяк, Ю.В. Лубан, С.В. Лубан, Я.І. Кулик] // Нафтогазова галузь України. – 2013. – № 4. – С. 10 – 14.
4. До питання оцінки інгібіруючих властивостей промивальних рідин / [А.Г. Розенгафт, Р.С. Яремійчук, І.Ю. Харів, С.В. Лубан] // Нафта і газ України: матеріали 6-ої Міжнародної наук.-практ. конф. [«Нафта і газ України – 2000»], (Івано-Франківськ, 31 жовтня – 3 листопада): зб. наук. праць. – Івано-Франківськ: ІФДТУНГ, 2000. – Т. 2. – С. 91.
5. Досвід застосування полімерних промивальних рідин у процесі буріння свердловин на нафту і газ на площах Дніпровсько-Донецької западини / [І.Ю. Харів, В.Ф. Коваленко, Т.І. Собакар, А.Г. Розенгафт, О.І. Політучий, С.В. Лубан, Ю.В. Лубан, І.І. Сушинський] // Збірник наукових праць УкрДГРІ: наук. журнал. – К.: УкрДГРІ, 2008. – № 3. – С. 159 – 162.
6. Застосування безглинистих промивальних рідин в умовах високих пластових тисків і температур / [Ю.В. Лубан, С.В. Лубан, В.В. Дудзич, А.Г. Бойко, В.Г. Семенюк] // Нафтогазова галузь України. – 2013. – № 2. – С. 18 – 22.
7. Исследование реологических свойств биополимерной системы Биокар / [М.А. Мыслюк, В.В. Богославец, Ю.В. Лубан, С.В. Лубан, С.О. Ляшенко] // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2015. – № 8. – С. 31 – 36.
8. Исследование структурно-механических свойств биополимерной системы Биокар / [М.А. Мыслюк, В.В. Богославец, Ю.В. Лубан, С.В. Лубан, С.О. Ляшенко] // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2016. – № 1. – С. 34 – 38.
9. Исследование фильтрационных свойств биополимерной системы Биокар / [М.А. Мыслюк, В.В. Богославец, Ю.В. Лубан, С.В. Лубан, С.О. Ляшенко, Л.И. Клебан] // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2016. – № 7. – С. 32 – 36.
10. Лубан С.В. Оцінка термічної стійкості безглинистих біополімерних систем / С.В. Лубан // Матеріали Міжнародної наук.-техн. конф. [«Нафтогазова освіта та наука: стан та перспективи»] (присвяченої 70-річчю газонафтопромислового факультету), (Івано-Франківськ, 10 – 12 грудня 2014 р.) – Івано-Франківськ, 2014. – С. 224 – 227.
11. Лубан С.В. Управление термической устойчивостью биополимерных безглинистых промывочных жидкостей / С.В. Лубан // X Międzynarodowa Konferencja [«Geopetrol 2016»]: prace naukowe Instytutu Nafty i Gazu Państwowego

Instytutu Badawczego nr 209, (Zakopane-Kościelisko, 19–22 wrześ. 2016 r.) – Kraków: Instytut Nafty i Gazu Państwowy Instyt Badawczy, 2016. – St. 293 – 297.

12. Пат. 65430 А Україна, МПК 7 С09К7/02. Композиція для одержання реагенту для обробки промивальних рідин / [Ю.В. Лубан, А.Г. Розенгафт, І.Ю. Харів, С.В. Лубан]. – 2003098196; заявл. 03.09.03; друк. 15.03.04, Бюл. № 3.
13. Розробка модифікованого ферментативно стійкого крохмалевого реагенту для буріння теригенних відкладів / [Ю.В. Лубан, А.Т. Левченко, А.Г. Розенгафт, С.В. Лубан, Є.Я. Трофімов] // Нафтова і газова промисловість. – 2003. – №3. – С. 17 – 19.
14. Zholob N.R. Research of Thermal Stability of Biopolymer Systems Weighted by Formic Acid Salt / Zholob N.R., Luban Y.V., Luban S.V. // X Międzynarodowa Konferencja [«Geopetrol 2016»]: prace naukowe Instytutu Nafty i Gazu Państwowego Instytutu Badawczego nr 209, Zakopane-Kościelisko, (19 – 22 wrześ. 2016 r). – Kraków: Instytut Nafty i Gazu Państwowy Instyt Badawczy, 2016. – С. 283 – 286.

АНОТАЦІЯ

Лубан С.В. Підвищення ефективності систем біополімерних безглинистих бурових розчинів. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.10 – Буріння свердловин. – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, 2016.

Дисертація присвячена підвищенню термічної стійкості систем біополімерних безглинистих бурових розчинів та розробці технології регулювання їх властивостей в умовах високих температур.

На підставі теоретичних та експериментальних досліджень встановлено, що зростання межі термічної стійкості, забезпечення високих реологічних характеристик і низьких показників фільтрації біополімерних систем в умовах високих пластових температур можливе внаслідок синергетичної взаємодії солей і білкових речовин. Розроблено і впроваджено у галузі рецептуру мінералізованого біополімерного безглинистого бурового розчину Біокар-МТ, обов'язковим компонентом якого є органо-мінеральний реагент Алеврон, що виконує функції термостійкого регулятора фільтрації та реологічних показників на вибої свердловини.

В дисертаційній роботі запропоновано критерій термічної стійкості біополімерних безглинистих систем, досліджено інгібуючі, реологічні, структурно-механічні і фільтраційні властивості бурового розчину Біокар-МТ при температурах до 150 °С.

Ключові слова: безглинистий буровий розчин, Біокар, біополімерний реагент, органо-мінеральний реагент Алеврон, реологічні властивості, структурно-механічні властивості, термічна стійкість, фільтраційні властивості.

ABSTRACT

S.V. Luban. Increase in the efficiency of clayless biopolymer drilling muds. – Manuscript.

Thesis for acquiring a candidate's degree in engineering sciences on the specialty 05.15.10 – Well drilling. – Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, 2016.

The thesis is devoted to the topic of the increase of thermal stability of biopolymer clayless drilling mud systems and the development of technology elaborated in order to control their properties at high temperatures.

On the basis of theoretical and experimental studies it was established that the increase of thermal stability limit, securing high rheological characteristics and low filtration loss of biopolymer systems at high formation temperatures is possible due to synergistic interaction of salts and protein substances. The recipe of mineralized biopolymer clayless drilling mud Biocar-MT was developed and utilized in practice. Its mandatory component is organic-mineral Alevron agent that serves both as the heat-resistant regulator of filtration and rheological parameters at bottomhole.

Given thesis proposes the criterion of thermal stability for clayless biopolymer systems, inhibiting, rheological, structural-mechanical and filtration properties of drilling mud Biokar-MT at temperatures up to 150°C were investigated.

Keywords: Biocar, biopolymer agent, clayless biopolymer drilling mud, filtration properties, organic-mineral Alevron agent, rheological properties, structural-mechanical properties, thermal stability.

АННОТАЦИЯ

Лубан С.В. Повышение эффективности систем биополимерных безглинистых буровых растворов. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.10 – Бурение скважин. – Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Ивано-Франковск, 2016.

Диссертация посвящена повышению термической устойчивости систем биополимерных безглинистых буровых растворов и разработке технологии регулирования их свойств в условиях высоких температур.

Предложен критерий термической устойчивости биополимерных безглинистых систем, соответствующий температуре плавления упорядоченной полимерной структуры жидкости и определяемый как точка перегиба кривой зависимости напряжения сдвига (или вязкости) от температуры. Показана зависимость термической устойчивости от минерализации и солевого состава бурового раствора.

Исследованы ингибирующие свойства отдельных солей (хлориды калия, натрия и кальция, нитрат кальция) и их композиций. Установлено синергетическое

усиление ингибирующего воздействия биополимерных систем на глинистые породы при совместном применении хлоридов калия и натрия. Ингибирование глинистых пород поливалентными солями при концентрациях свыше 25 – 30 % превышает эффект от применения хлорида калия. Показано, что минерализованные биополимерные системы характеризуются повышенной ферментативной устойчивостью. В системе Биокар при концентрациях солей от 15 % и выше специальные реагенты-бактерициды не используются.

Установлено, что снижение показателя фильтрации безглинистых буровых растворов возникает вследствие уменьшения проницаемости корки, сформированной преимущественно грубодисперсными частицами слабо гидратированных инертных наполнителей. Эффективными регуляторами показателя фильтрации таких систем в забойных условиях являются полимерные вещества, способные кольматировать и уплотнять пористую среду корки, а также замедлять температурное разжижение фильтрата и повышать ее гидравлическое сопротивление. Такими свойствами обладают различные типы растительных и животных белков с ограниченной растворимостью.

Синергетическое взаимодействие солей и белковых веществ позволяет обеспечить высокие реологические свойства и низкие показатели фильтрации биополимерных систем в условиях высоких температур при одновременном увеличении предела их термической устойчивости. Разработана и внедрена в отрасли рецептура минерализованного биополимерного бурового раствора Биокар-МТ, включающая белоксодержащий реагент Алеврон с функциями термостойкого регулятора фильтрации и реологических свойств в забойных условиях.

На основе исследований реологических, структурно-механических и фильтрационных свойств бурового раствора Биокар-МТ получены регрессионные модели, которые позволяют прогнозировать их изменения в зависимости от концентраций реагентов и температур (до 150 °С), а также обосновать выбор оптимальных рецептур для конкретных условий бурения.

Теоретические положения диссертационной работы подтверждены успешными промышленными испытаниями разработанной рецептуры биополимерной безглинистой системы Биокар-МТ в сложных горно-геологических условиях Украины.

Ключевые слова: безглинистый буровой раствор, Биокар, биополимерный реагент, органо-минеральный реагент Алеврон, реологические свойства, структурно-механические свойства, термическая устойчивость, фильтрационные свойства.