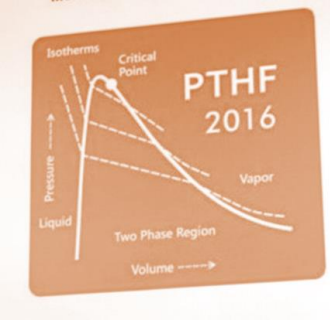
ОПЫТ РЕАЛИЗАЦИИ МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЯ ВРЕМЕНИ УСТОЙЧИВОГО СОСТОЯНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ КЕРНОВ ПРИ ОДНООСНОМ СЖАТИИ В СРЕДЕ ПРОМЫВОЧНЫХ ЖИДКОСТЕЙ

Герасименко А.П.[1], Дюльманов И.В.[2], Елизаров А.А.[3],
Клеттер В.Ю., к.т.н.[1], Лосев А.П., к.т.н.[2,3], Уразметов М.Х.[1]

[1] ООО «ИСК «ПетроИнжиниринг»,
117630, г. Москва, парк Воронцовский, д. 4
[2] РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина,
119991, г. Москва, Ленинский проспект, д. 65, корп. 1
[3] ООО НИИЦ «Недра-тест»,
119296, г. Москва, Ленинский проспект, д. 63/2, корп. 1
info@iscpetro.ru, info@nedratest.ru



Научно-исследовательский и испытательный центр
НЕДРА-ТЕСТ

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ВРЕМЕНИ УСТОЙЧИВОГО СОСТОЯНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ КЕРНОВ ПРИ ОДНООСНОМ СЖАТИИ В СРЕДЕ ПРОМЫВОЧНЫХ ЖИДКОСТЕЙ

Лосев А.П.

к.т.н., генеральный директор

119296, г. Москва, Ленинский проспект, д. 63/2, корп. 1
+7 (495) 125-20-80, info@nedratest.ru, http://nedratest.ru

ISO 9001 ISO 17025 ISO 14001 OHSAS 18001

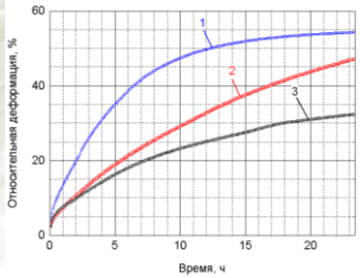
Применяемые тесты оценки устойчивости

Тесты на свободное набухание

определение линейных (объёмных) деформаций глинистого образца при длительном контакте с БР,

спрессованные таблетки, порошки

не применим для аргиллитов, не набухающих глинистых минералов



МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

ГОСТ 12248 - 2010

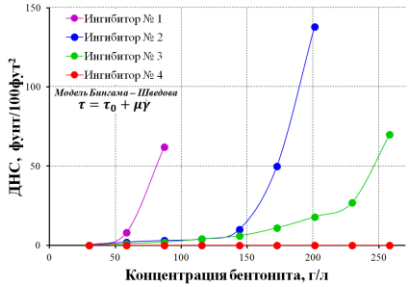
Грунты

МЕТОДЫ ЛАБОРАТОРНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЧНОСТИ И ДЕФОРМИРУЕМОСТИ

Тест на гидратацию

показывает способность ингибитора препятствовать проникновению воды в межслоевое пространство пачек глинистых слоев – по возникновения ДНС (из модели Шведова-Бингами),

Порошки набухающих глинистых минералов



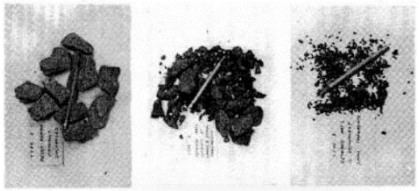
Тесты на диспергирование глинистых пород

определение массы диспергировавшегося шлама после длительного воздействия на с буровым раствором в динамических и термобарических условиях,

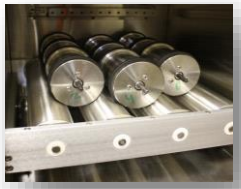
кускообразный шлам

ASTM D4644-16

Standard Test Method For Slake Durability Of Shales And Other Similar Weak Rocks



- **Тест на эрозионную устойчивость (в сетчатых барабанах)**



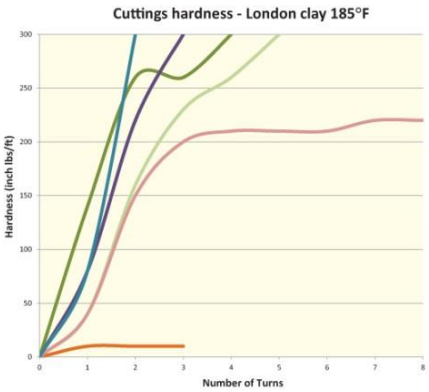
- **Тест во вращающихся автоклавах**

Применяемые тесты оценки устойчивости

Тесты на агегативную (объемную) твердость

шлам после термообработки во вращающихся автоклавах продавливается в «мясорубке» динамометрической ручкой и определяется $M_{кр}$

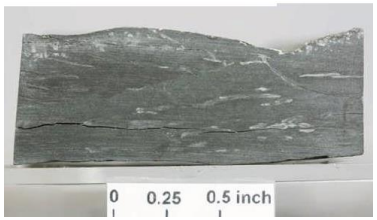
кускообразный шлам



Тест на развитие трещин в аргиллитах

определяют степень (количество, размеры) развития трещин в аргиллитах, после их взаимодейтсвия с БР

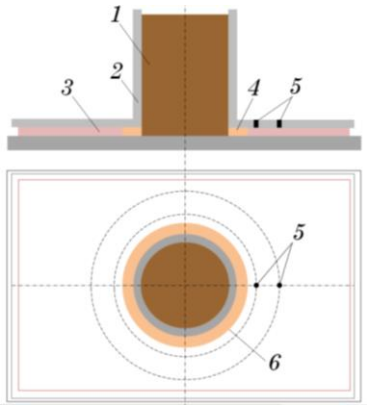
керн, кускообразный шлам



Тест на определение времени капиллярной пропитки

определение времени замыкания двух электродов дисперсионной средой глинистой суспензии,

порошки

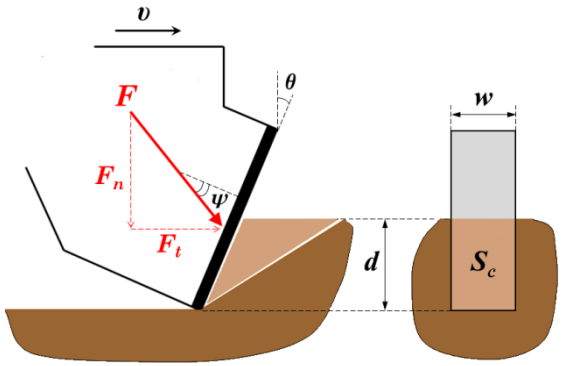


Применяемые тесты оценки устойчивости

Твердость по Мартенсу (царапание)

определение твердости методом царапания: определение усилия, необходимого для среза слоя породы после ее контакта с БР,

керн



Результаты обзора применяемых отраслевых тестов

1) не уделяется внимание пробоподготовке образцов для испытаний (однотипности)

2) информация лишь об отдельных факторах взаимодействия породы с раствором – косвенно связанных с прочностью

3) результаты не поддаются метрологической оценке

4) ряд тестов имеет ограничения по типу испытываемых глинистых пород (только глины или только аргиллиты)

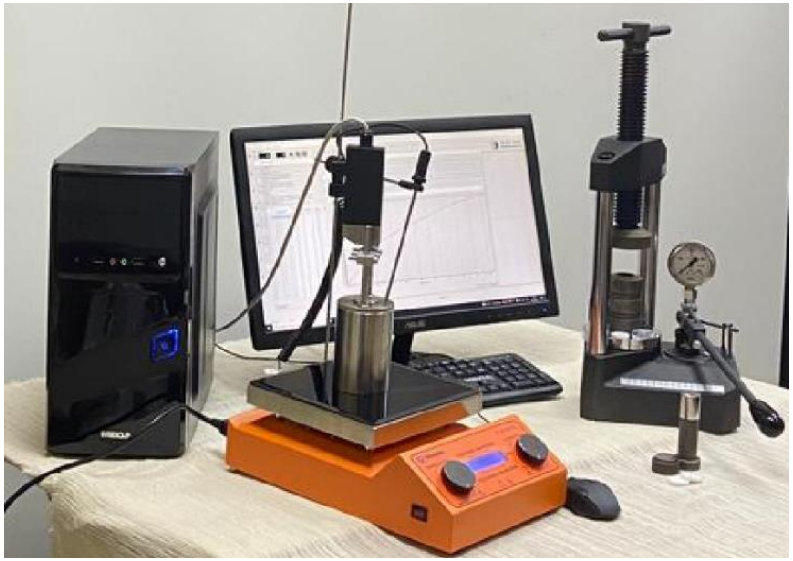
В 2021 году ООО НИИЦ «Недра-тест» аттестовал собственную методику:

«Методика определения времени устойчивого состояния при одноосном сжатии и деформации при набухании искусственных кернов в жидкой среде»

(Свидетельство об аттестации методики измерений № 222.0093/RA.RU.311866/2021).

Измеряемыми величинами по методике являются:

1) время устойчивого состояния при одноосном сжатии керна в среде
2) относительная вертикальная деформация при набухании



Уральский научно-исследовательский институт метрологии - филиал
Федерального государственного унитарного предприятия
«Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им.Д.И.Менделеева»
(УНИИМ – филиал ФГУП «ВНИИМ им.Д.И.Менделеева»)

620075, Свердловская область, г. Екатеринбург, ул. Красноармейская, 4
тел: +7(343)350-26-18, факс: +7(343)350-20-39, uniim@uniim.ru, www.uniim.ru

Уникальный номер записи об аккредитации в реестре аккредитованных лиц RA.RU.311866

ВНИИМ им.Д.И.Менделеева

СВИДЕТЕЛЬСТВО
об аттестации методики (метода) измерений

№ 222.0093/RA.RU.311866/2021

Методика измерений времени устойчивого состояния при одноосном сжатии и относительной вертикальной деформации при набухании искусственных кернов в жидкой среде с применением средств измерений утвержденного типа ,
наименование методики, включая указание измеряемой величины, шкалы величины (шкалы измерений), объекта, диапазона и реализуемый способ измерений и, при необходимости, наименование дополнительных параметров

разработанная ООО НИИЦ "Недра-тест" (119296, г. Москва, Ленинский проспект, д.63/2, корп.1) ,
наименование и адрес организации (предприятия), разработавшей методику

содержащаяся в документе организации "Методика определения времени устойчивого состояния при одноосном сжатии и деформации при набухании искусственных кернов в жидкой среде", 2021 г., 25 стр.
обозначение и наименование документа, содержащего методику, год утверждения, число страниц

Аттестация проведена на основе теоретических и экспериментальных исследований.
теоретических и (или) экспериментальных исследований

Методика измерений аттестована в соответствии с Приказом Минпромторга России от 15.12.2015 г. № 4091

В результате аттестации методики измерений установлено, что методика измерений соответствует метрологическим требованиям, приведенным в Федеральном законе от 26.06.2008 г. № 102-ФЗ "Об обеспечении единства измерений"

ГОСТ Р 8.563-2009
другие нормативные правовые акты Российской Федерации, нормативные документы (при наличии)

Показатели точности измерений приведены в приложении на 2 л., являющемся неотъемлемой частью настоящего свидетельства.

И.о. директора филиала **Е.П. Собина**

Зав. лабораторией **Ю.В. Канаева**

Дата выдачи 02.08.2021

Научно-исследовательский и испытательный центр НЕДРА-ТЕСТ

nedratest.ru

Лабораторный комплекс

Лабораторный комплекс

Программа регистрации линейных деформаций TLD10

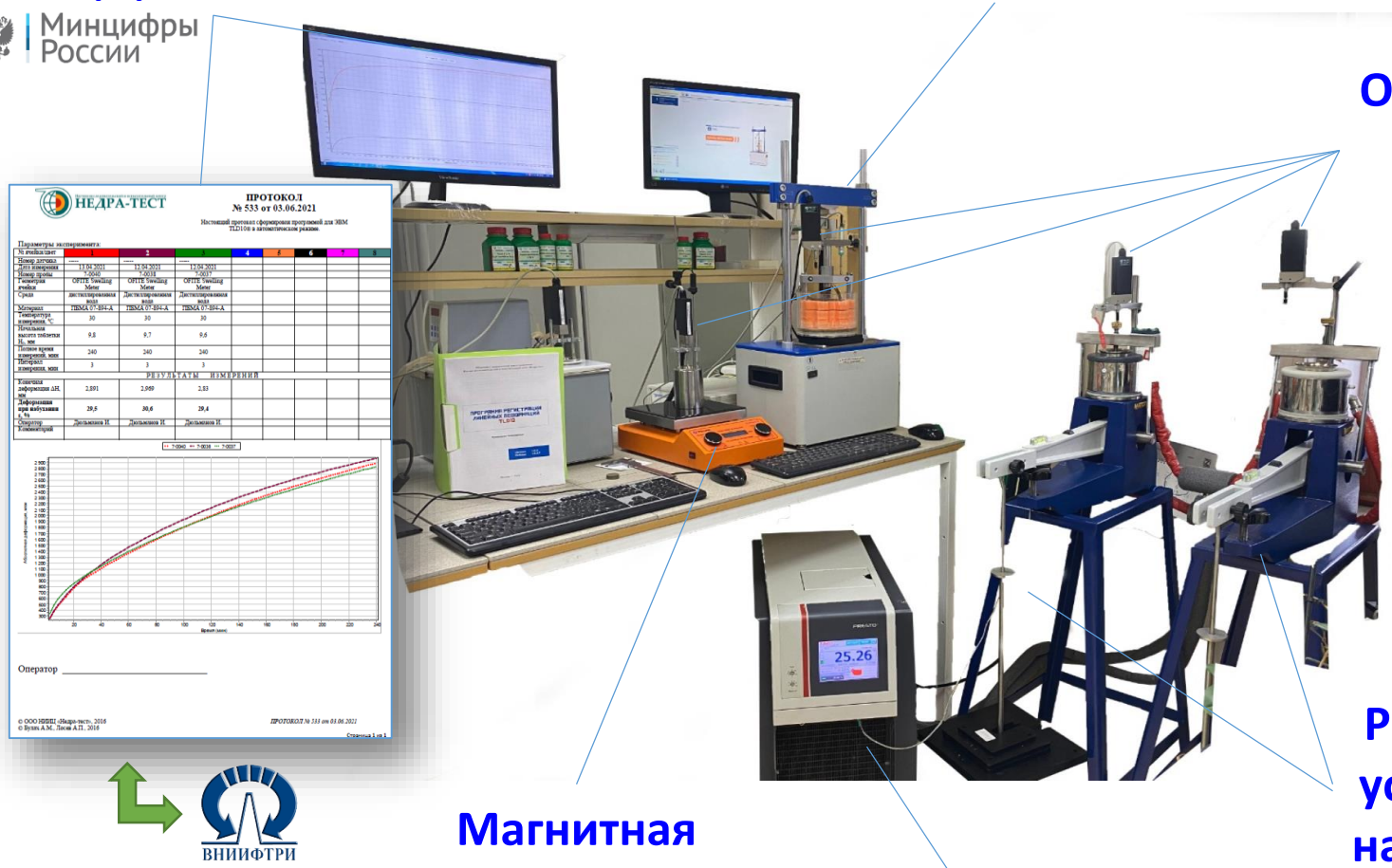
Цифровое электромеханическое устройство нагружения

Оптоэлектронные датчики перемещений

Рычажное устройство нагружения

Магнитная мешалка

Термостат



Программа регистрации линейных деформаций TLD10

Сведения о правообладателях программного обеспечения

российская коммерческая организация

Название организации

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ И ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР "НЕДРА-ТЕСТ"

ИНН 7728894003

Сведения об исключительном праве

Свидетельство №2017612201 от 16 февраля 2017 года. Приказ по Обществу №84-О о внедрении ППО от 17.10.2016 г. Договор об отчуждении исключительного права на произведение от 07.11.2016 г. между приобретателем (ООО НИИЦ "Недра-тест") и авторами (Лосев А.П., Булах А.М.). Акт приема-передачи неисключительных прав на использование результатов интеллектуальной деятельности №15319328 от 04.02.2016 на "Права на использование Delphi 10 Seattle Professional Named User ESD" от ЗАО "Софткей". ТН 17045464 от 05.10.2016 г. на "Библиотека компонент EhLib: EhLib 9.0; EhLib Standard" от ЗАО "Софткей". ТН 20080838 от 16.10.2018 г. на

Альтернативные наименования:
Запись деформаций, набухания, ползучести при одноосном сжатии кернов, горных пород, грунтов, полимеров и резин

Класс ПО:
Информационные системы для решения специфических отраслевых задач, Системы сбора, хранения, обработки, анализа, моделирования и визуализации массивов данных

Сайт производителя:
https://nedratest.ru/linear_swelling_meter

Дата регистрации:
8 Апреля 2021

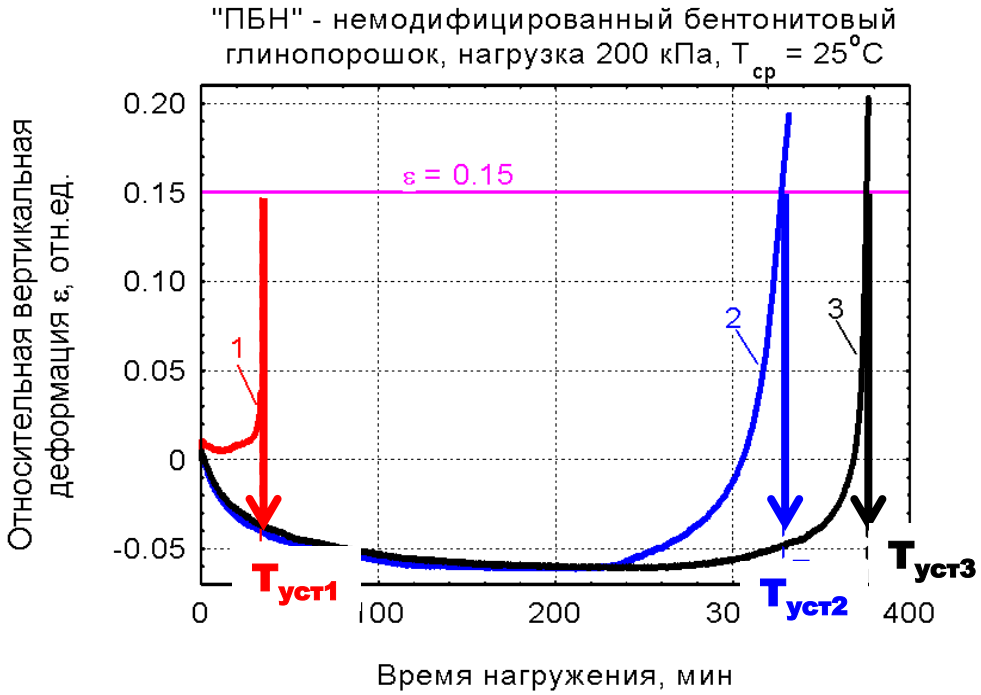
Критерий оценки устойчивого состояния

«Время устойчивого состояния»

ГОСТ 12248-2010

«Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости»

«…разрушение образцов происходит при достижении относительной вертикальной деформации ε=15%...»

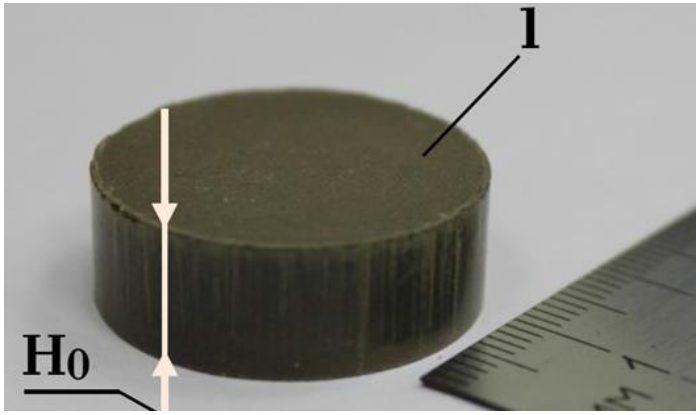


– это время, при котором вертикальная деформация образца достигает 15%

Приготовление искусственных кернов

Объекты исследования

- Немодифицированный ПБН
- м. Р. Требса: «*керн 1*» - 1800-2100 м
  «*керн 2*» - 2100-2300 м
- м. Средне-Назымское 2000-2700 м

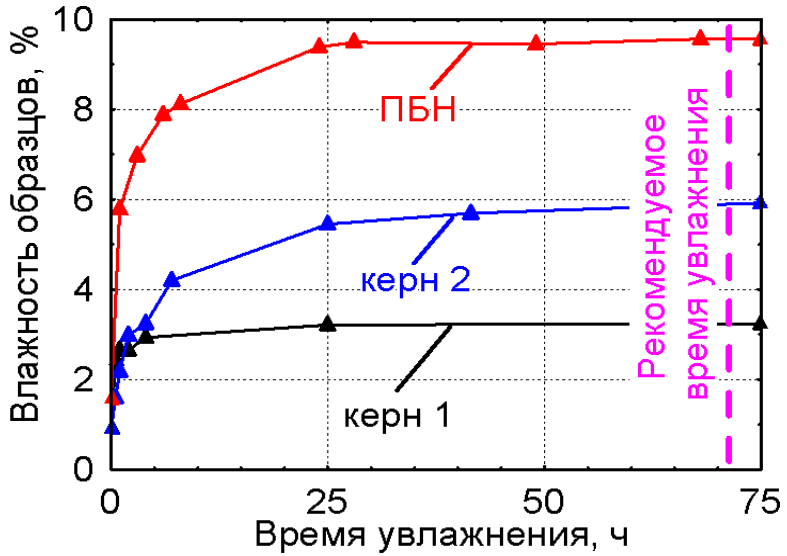


искусственный керн
m=5 г, $D_{обр}$=20 мм, $H_{обр}/D_{обр}$=0,37

1) Измельчение шлама / керна

2) Отсев порошка заданной фракции (менее 160 мкм – аргиллитовая фракция)

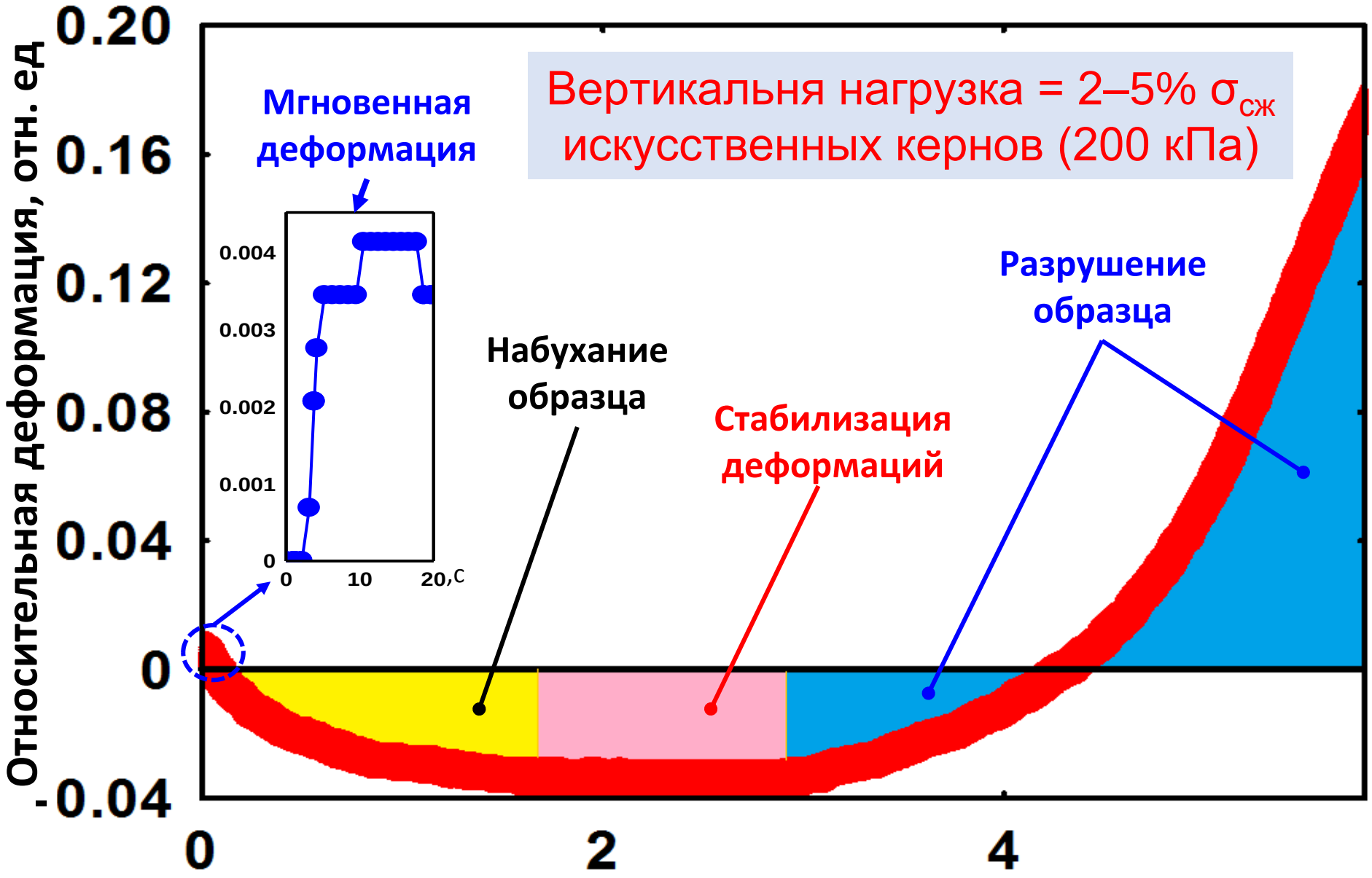
3) Увлажнение порошка до максимальной равновесной влажности над насыщенным раствором хлорида калия



4) Прессование порошка с параметрами:
$P_{упл}$=90 МПа, $T_{упл}$=15 мин

5) Прочностные испытания искусственного керна

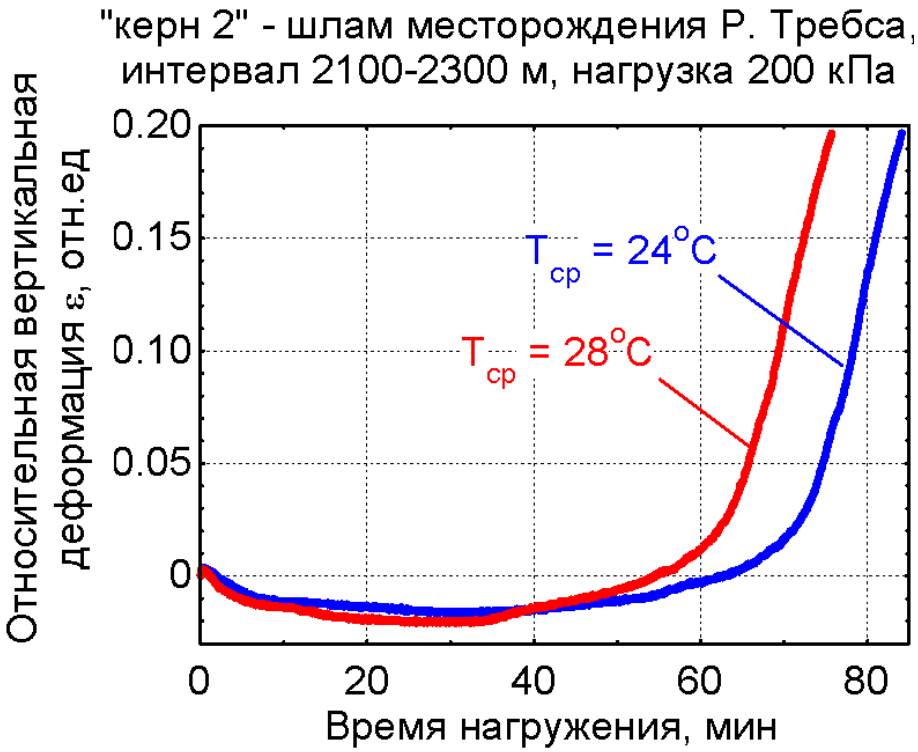
Анализ кривой ползучести



Влияние температуры на ползучесть

Без термостатирования

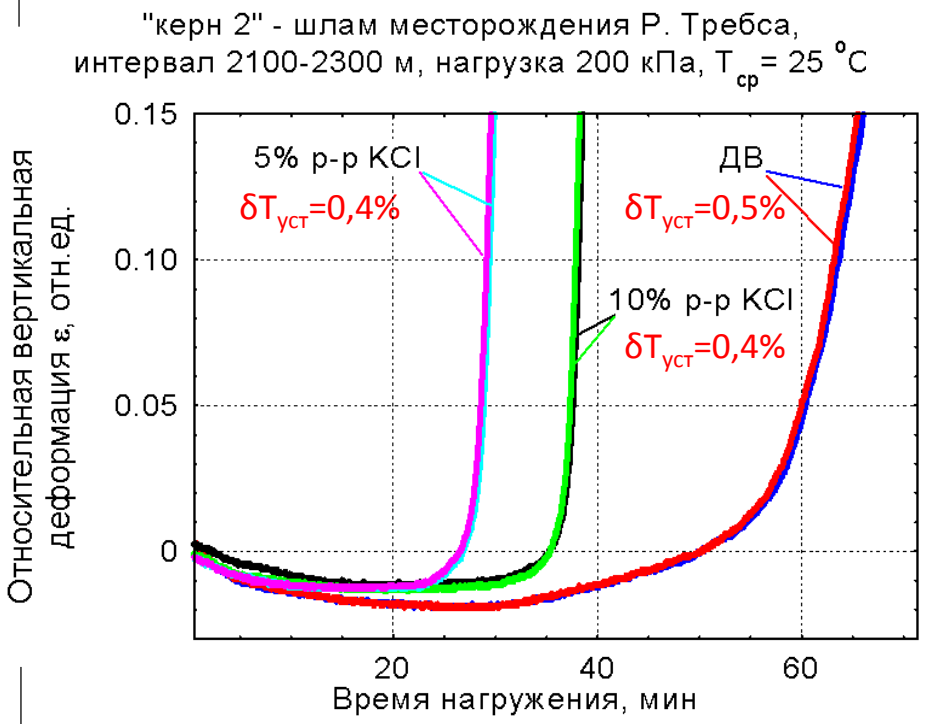
Повторные испытания в одинаковых условиях ($T_{ср}$ ≠ const, 200 кПа) в среде дистиллированной воды



Отсутствие воспроизводимости

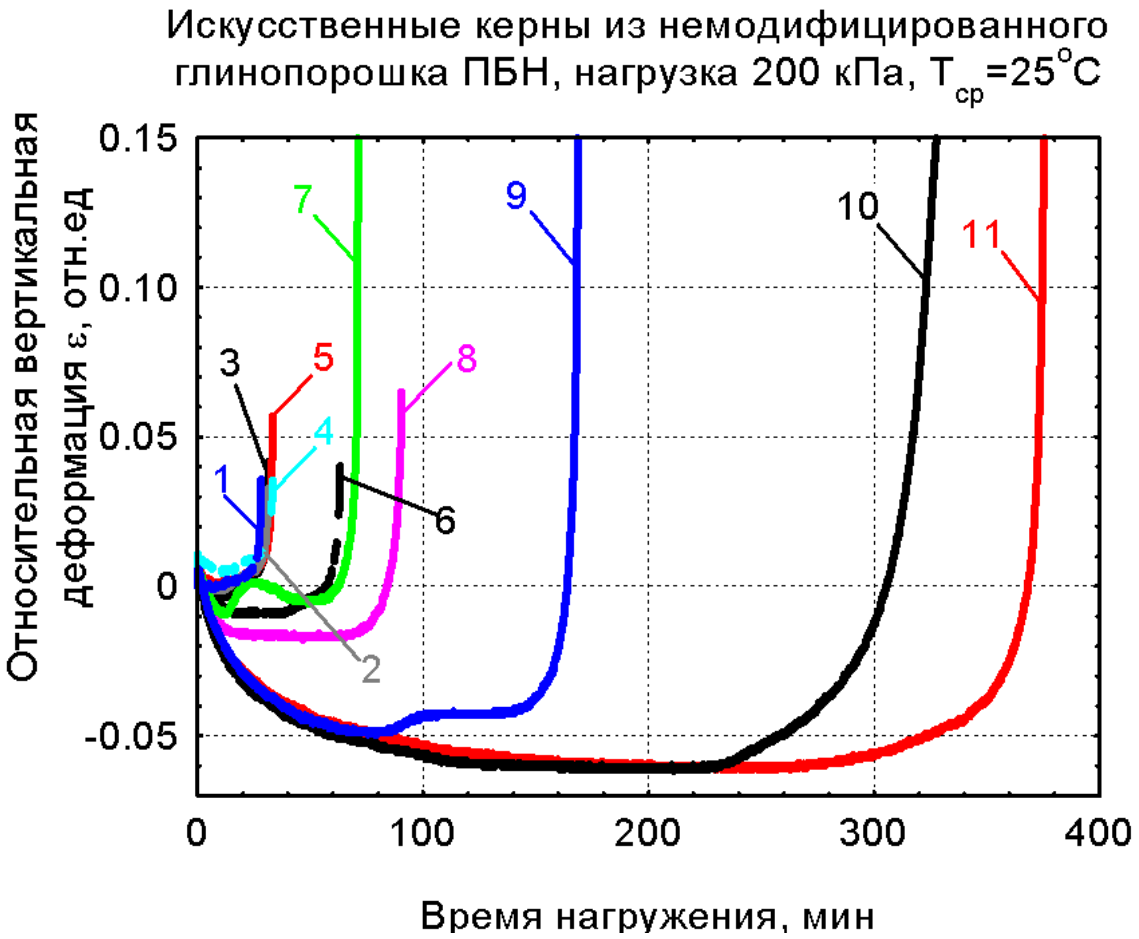
Модифицированная установка с термостатированием

Повторные испытания в одинаковых условиях ($T_{ср}$ = 25°C, 200 кПа) в различных средах: дистиллированная вода (ДВ), 5% и 10% растворы KCl.



Наблюдается воспроизводимость = однотипность искусственных кернов

Ранжирование ингибирующих добавок



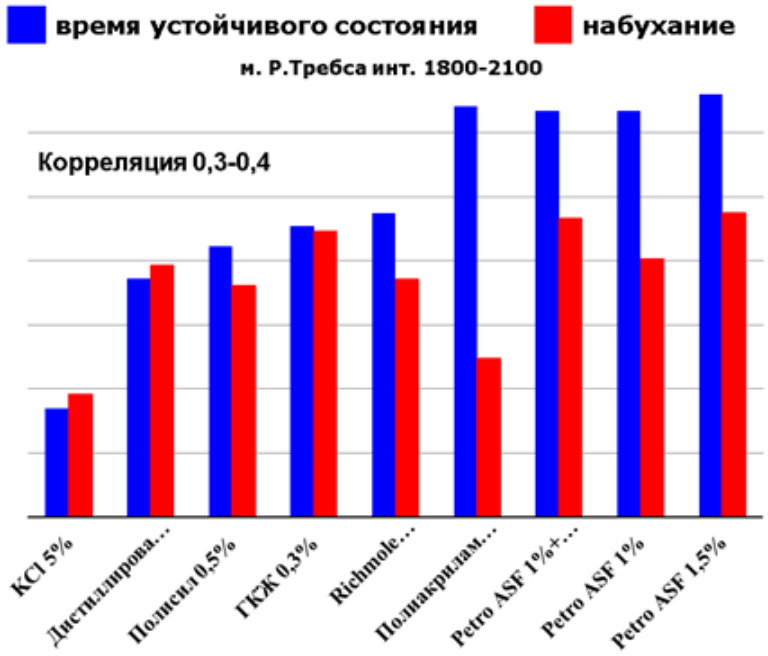
	Ингибитор	Концентрация в водном растворе, %	$T_{уст}$, мин
1	Дистиллированная вода		28
2	Боросиликатный реагент	0,3	31
3	Метасиликат натрия	0,3	31
4	Полигликоль	2,0	33
5	ГКЖ (25-30% водный раствор мелисиликоната натрия)	0,3	33
6	Аминовый ингибитор	2,0	63
7	Полимер силикатный реагент	2,0	71
8	Полигликоль	20,0	91
9	Сульфированный асфальт	1,0	169
10		2,0	332
11	Метилглюкозид	10,0	377

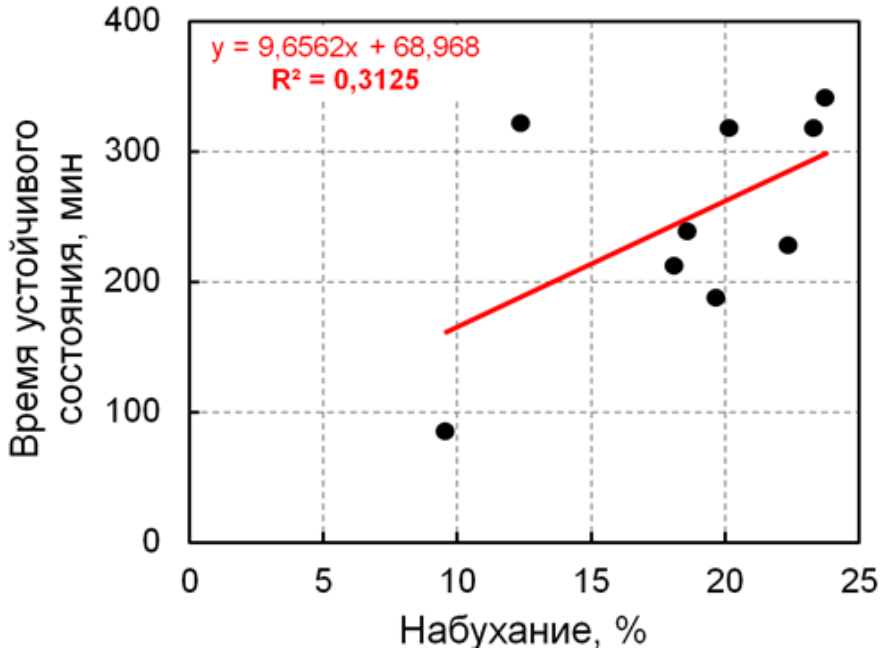
КРЕПЯЩИЕ СВОЙСТВА

Общая рекомендация для разрезов со смектитовым типом глин

Связь набухания и устойчивости образцов

~~«…чем больше набухание, тем ниже устойчивость стенок скважины…»~~





набухание обвальных пород не коррелирует с прочностью породы,
т.е. порода может набухать, но при этом сохранять свою устойчивость.

ИСК ПЕТРО ИНЖИНИРИНГ

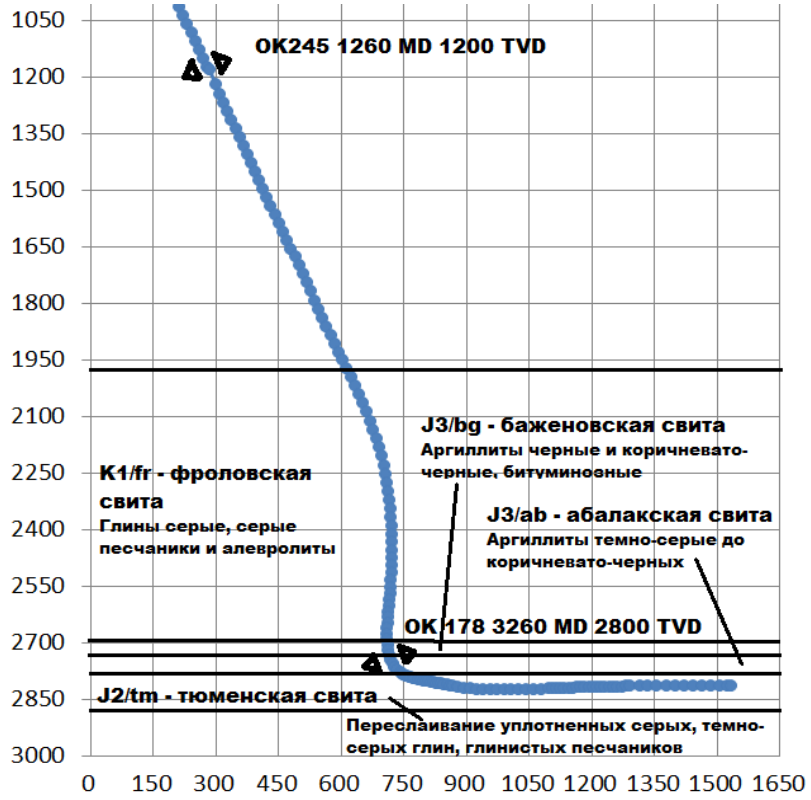
ОПЫТ РЕАЛИЗАЦИИ МЕТОДИКИ

В.Ю. Клеттер
к.т.н., главный технолог

Осложнения при бурении скважин на Западно-Эргинском месторождении

Осложненный интервал:

- баженовская свита 2730–2764 м
- абалакская свита 2764–2801 м
- тюменская свита 2801–2885 м
  - песчаники
  - глины
  - **аргиллиты (до 50%)**
  - алевролиты (5-10%) с
  - $T_{пл}$ = 82–90°C



Применяемый раствор – NaCl-KCl биополимерный

Неустойчивость стенок скважины:

- недоспуск хвостовиков в 5/6 случаев: от 190 м до 663 м,
- посадки до 10 т,
- низкий вынос шлама, высокая ЭЦП

решение – РУО ?!

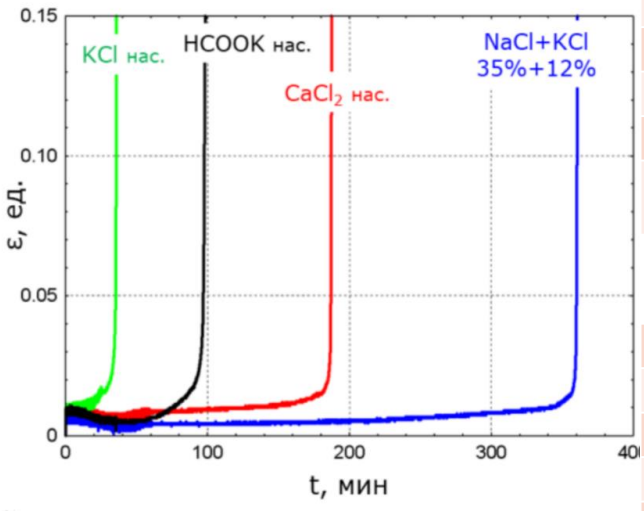
Существенные недостатки:

- **Высокая стоимость**
- **Экологическая небезопасность**
- **Переоснащение буровой**

Предложенное решение

Минерализованная эмульсия первого рода (прямая эмульсия: дисперсионная среда – вода, дисперсная фаза - углеводород)

проработано 8 эмульгаторов / ~30 рецептур БР



Реагент	Концентрация, титр.
Вода	800
Бактерицид	0,5
Каустическая сода	До pH=9,5
Биополимер	2-3,5
ПАЦ НВ	5,5-7,5
Крахмальный реагент	5,5-7,5
NaCl	**150-250**
KCl	**80-150**
МК	80-100
Каустическая сода	pH=10,5-11
Ингибитор	10-20
Эмульгатор	8-12
Масло	100-200

	до т/о	т/о	до т/о	т/о
	50°C	50°C	90°C	90°C
ρ, кг/м³	1,27	1,26		
ПВ, мПа·с	30	27	24	23
ДНС, Па	19	19	16,5	16,5
СНС, Па	4/6	4,5/6	3,5/4,5	3,5/5
ВНСС, мПа·с	33000	19000	10000	9900
$Ф_{6,9}$, мл	0,5	1,0		

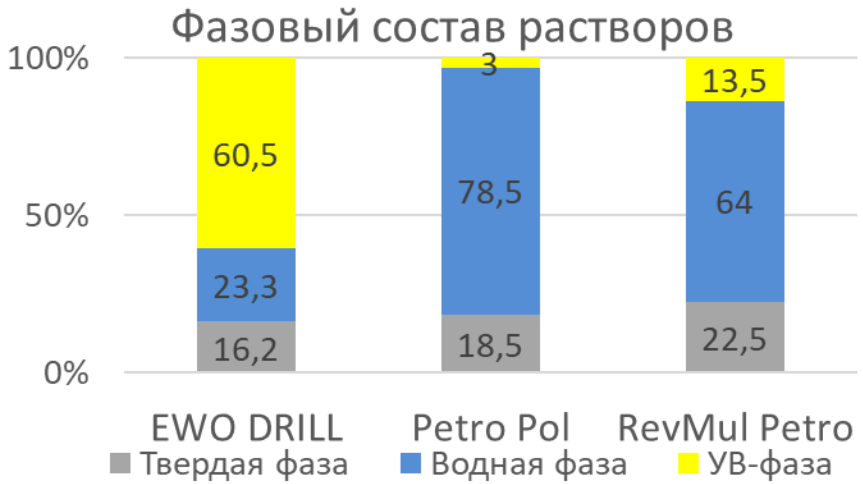
Эта прямая эмульсия признана наилучшим ингибирующим раствором, в т.ч. сохраняющим коллекторские свойтсва ПЗС, по результатам сравнительных испытаний БашНИПИнефть (Мулюков, Хафизов и др., 2018)

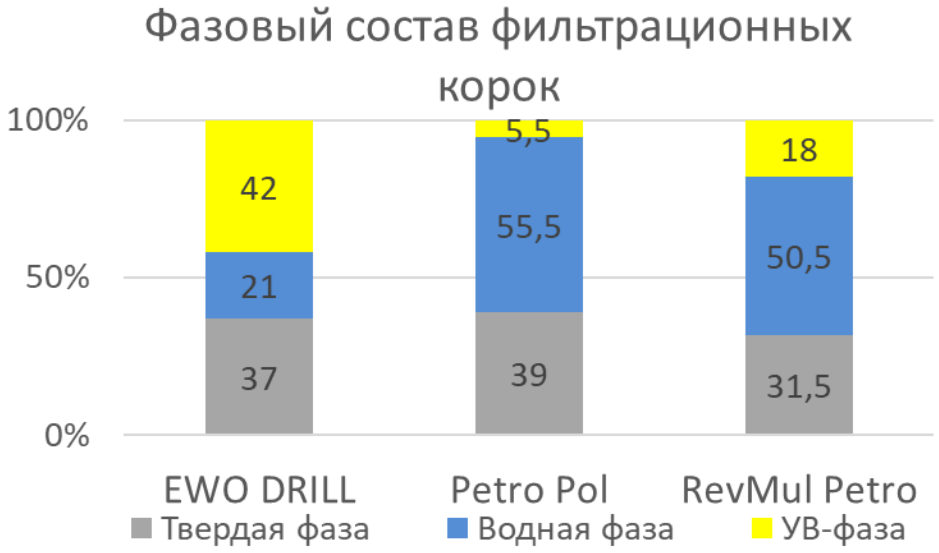
Эмульгатор обеспечивает стабильность при минерализации солями (до 400 г/л) при Т до +90°С, совместимость с любыми структурообразователями, понизителями фильтрации, ингибиторами и твердой фазой

По результатм испытаний, эмульгатор прошел процедуру регистрации на территории РФ (торговая марка «Petro Mul W», сертификация ТЭКСЕРТ)

Вероятный механизм повышения устойчивости

Название	EWO DRILL	Petro Pol	RevMul Petro
Описание	РУО на основе масла EWO BASE4 (ВМО 30:70)	Полисахаридный минерализованный (NaCl+KCl) + 3% Petro Lube	Прямая эмульсия на основе полисахаридного минерализованного (NaCl+KCl) + д/т (ВМО 85:15)
Плотность, г/см3	1,30	1,32	1,27
LPLT, мл/30мин*	< 0,5	4,8	1,0
HPHT, мл/30мин*	3,4	10,8	6,8





ВЫВОД: эффективность прямых эмульсий обусловлена гидрофобными свойствами фильтрационной корки и, соответственно, меньшей проницаемостью для воды по сравнению с РВО

Результаты опытно-промышленных работ на Западно-Эргинском месторождении

Реестр спуска хвостовиков на скважинах на Западно-Эргинском месторождении

№ скв.	РВО	Прямая эмульсия
124		недоспуск **5 м**
103		спущен согласно плану
221		
222	недоспуск **472 м**	
220	недоспуск **330 м**	
216	недоспуск **311 м**	
212	спущен согласно плану	
209	недоспуск **190 м**	
205	недоспуск **663 м**	

Ситдиков Л.Р., Корниенко Д.Н., Гридасов А.А. Отчет опытно-промышленных испытаний: «Эмульсионной системы буровых растворов первого рода при бурении скважины с горизонтальным окончанием на продуктивнй пласт ЮС2-3» // ООО «ИСК «ПетроИнжиниринг». – Ханты-Мансийск, 2018. – 27 с.

Результаты опытно-промышленных работ на Западно-Эргинском месторождении

Сравнение технологических показателей бурения

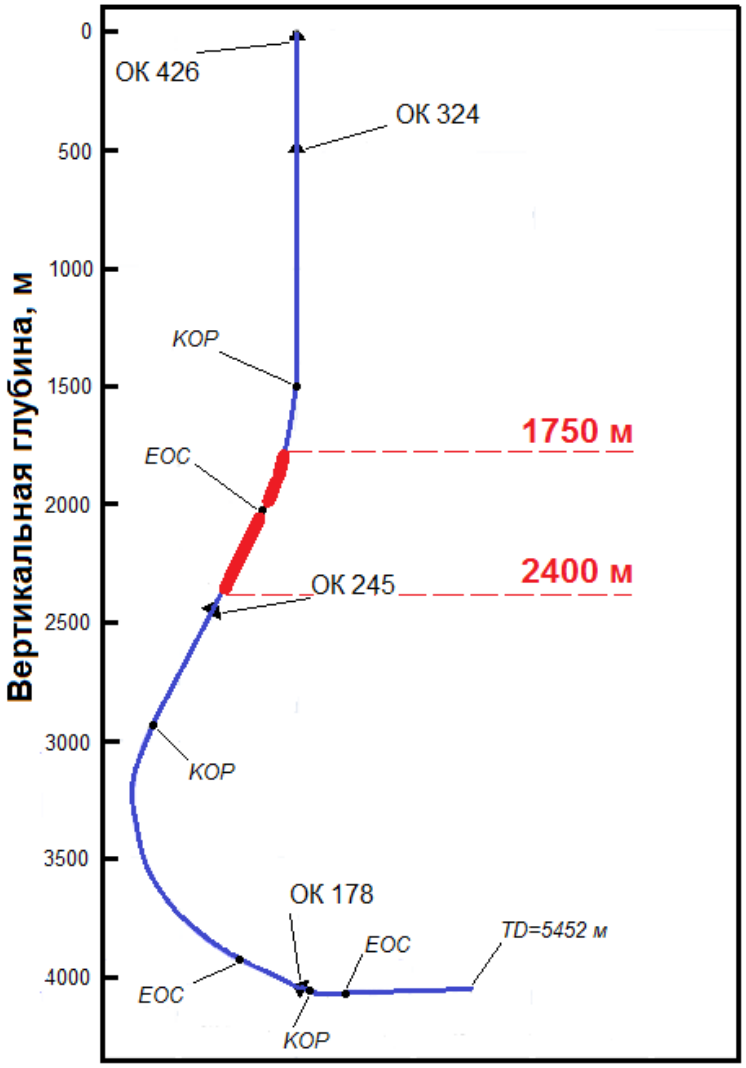
Технологический показатель	Прямая эмульсия	РВО
	скв. 103	скв. 222
$M_{вр}$ при бурении ротором, кН·м	18,0	21,0
$K_{тр}$ «на хождение» в ОС, отн. ед	0,29	0,35
$K_{тр}$ «на вращение» в ОС, отн. ед	0,22	0,37
Время, затраченное на проработку, ч	**2,5**	**14,3**
Спуск 114 мм хвостовика	по плану	недоспуск 472 м

Ситдиков Л.Р., Корниенко Д.Н., Гридасов А.А. Отчет опытно-промышленных испытаний: «Эмульсионной системы буровых растворов первого рода при бурении скважины с горизонтальным окончанием на продуктивнй пласт ЮС2-3» // ООО «ИСК «ПетроИнжиниринг». – Ханты-Мансийск, 2018. – 27 с.

Месторождение, куст, скважина	Тип раствора	Момент над забоем		Момент на забое		Фактический коэффициент трения	
		план	факт	план	факт	по весу	по моменту
Западно-Эргинское, куст 1, скв 124	Прямая эмульсия	23,0	18,0	25,1	20,0	0,34	**0,25**
Кондинское, куст 9, скв. 924	РУО	19,5	16,0	21,4	20,0	0,35	**0,28**
Кондинское, куст 10, скв. 1010	РВО	20,9	21,0	22,5	22,0	0,42	0,3

Сравнительный анализ бурения: месторождения Кондинское и Западно-Эргинское, кусты/скважины: 9/924, 10/1010, 1/124 – 2019. – 21 с. (Подрядчик по ННБ)

Осложнения на месторождениях им. Романа Требса и им. Анатолия Титова



Применяемый буровой раствор – полиакриламидный недиспергирующий

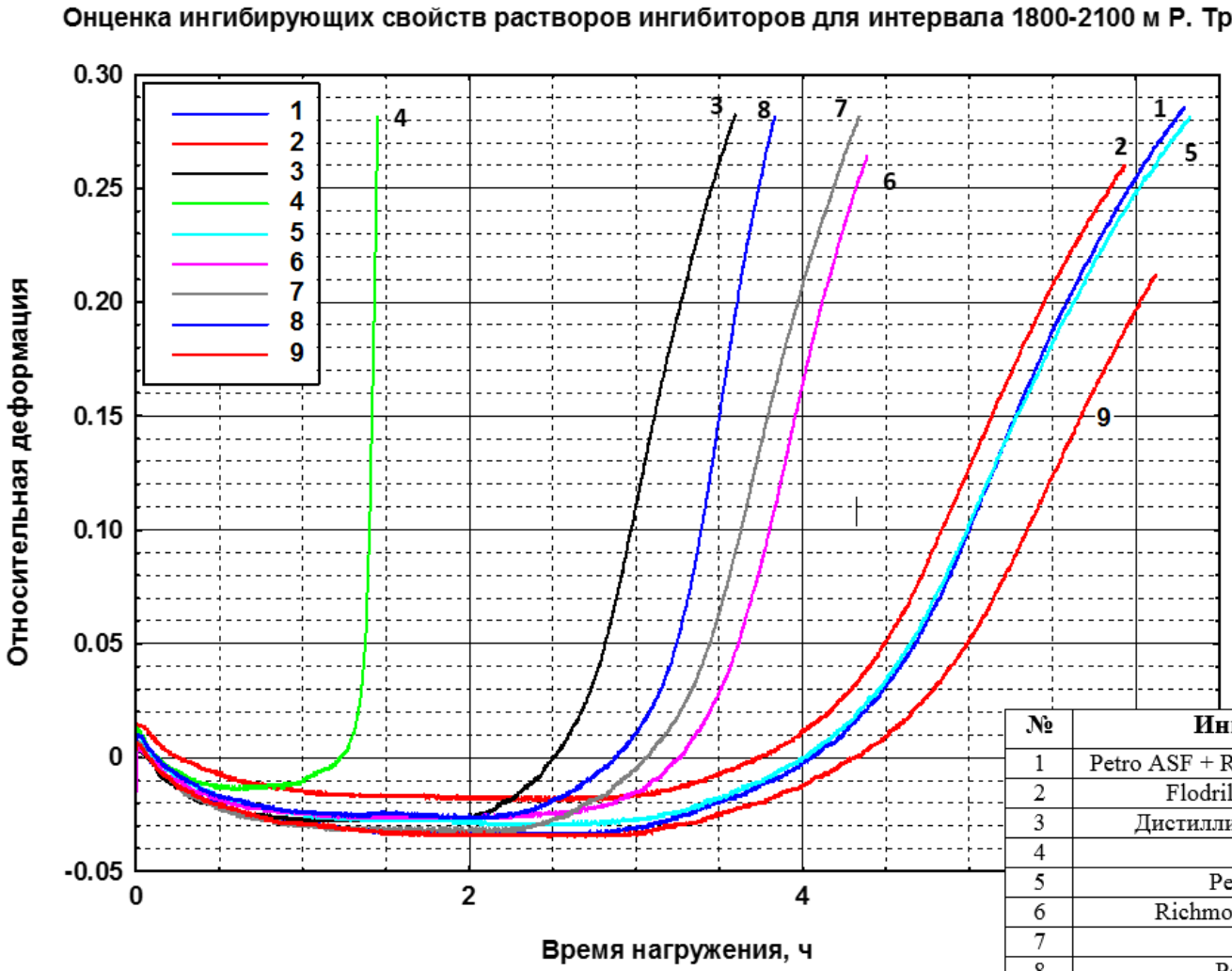
Неустойчивость ствола, $T_{факт}$ превышало $T_{план}$ на 25%:

- плохой вынос шлама при бурении,
- посадки/затяжки до 10 т,
- сложность со спуском ОК

НПВ~50% от времени на бурение

Принято решение – скорректировать рецептуру бурового раствора

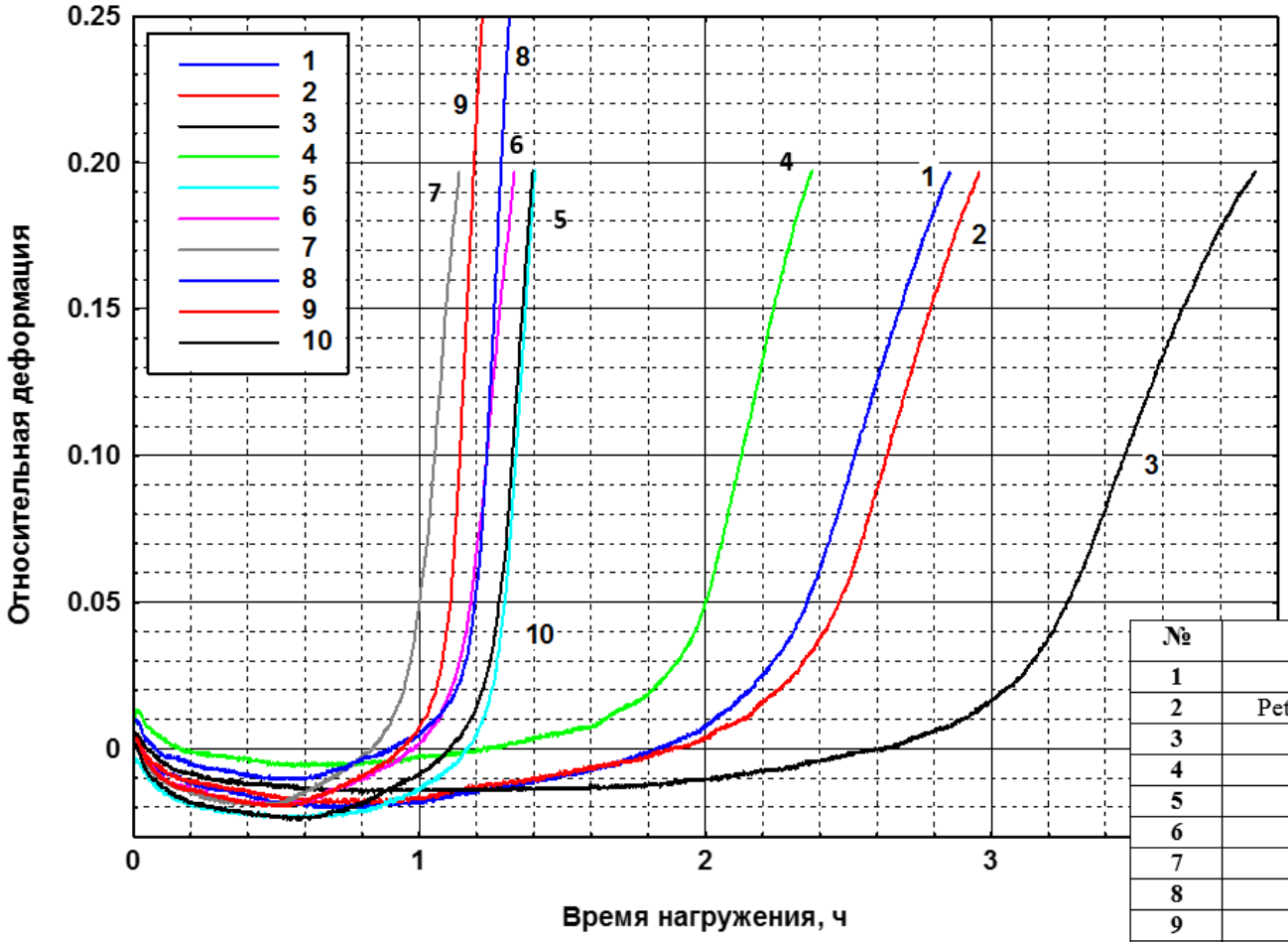
Результаты лабораторных испытаний



№	Ингибитор	Конц., %
1	Petro ASF + Richmole Comp. 100	1,0+1,0
2	Flodrill PAM 1040	0,2
3	Дистиллированная вода	
4	KCl	5
5	Petro ASF	1,0
6	Richmole Comp. 100	2,0
7	ГКЖ	0,3
8	Petro Fix	0,5
9	Petro ASF	1,5

Результаты лабораторных испытаний

Оценка ингибирующих свойств растворов ингибиторов для интервала 2100-2300 м Р. Требса



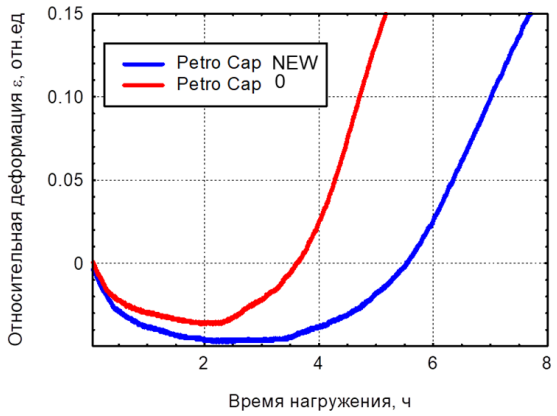
№	Ингибитор	Кон-ия, %
1	Petro ASF	1,0
2	Petro ASF + Richmole Comp. 100	1,0+1,0
3	Petro ASF	1,5
4	Flodrill PAM 1040	0,2
5	Richmole Comp. 100	2,0
6	ГКЖ	0,3
7	Дистиллированная вода	
8	Petro Fix	0,5
9	Petro Fix	1,0
10	Силикат калия	0,3

Предложенное решение

Базовая рецептура

Наименование реагента	Концентрация, кг/м³
BentoLUX API-AS	4,0
Бикарбонат натрия	0,6
Каустическая сода	2,5
Petro Cide	0,5
Flodrill TS 705	3,4
Flodrill PAM 1040	3,4
Richmole Component 100	10,0
ЛУБ БКЕ	6,0
Petro PAC LV	1,5
Petro PAC HV	0,5
Xanthan Petro L	0,6
Мраморная крошка	35,0
Известь	1,0
Барит	70,0
ГКЖ-11П	4,0

Увеличение содержания акриловых компонентов



Изменена рецептура применяемого раствора для бурения промежуточной колонны

Корректировка базовой рецептуры

Наименование реагента	Концентрация, кг/м³
BentoLUX API-AS	4,0
Бикарбонат натрия	0,6
Каустическая сода	1,5
Flodrill TS 705	5,5
Flodrill PAM 1040	5,4
Richmole Component 100	8,0
ЛУБ БКЕ	6,0
Petro PAC LV	0
Petro PAC HV	0
Xanthan Petro L	0,3
Мраморная крошка	30,0
Известь	0,5
Барит	15,0
ГКЖ-11П	8,0
Petro ASF	10,0

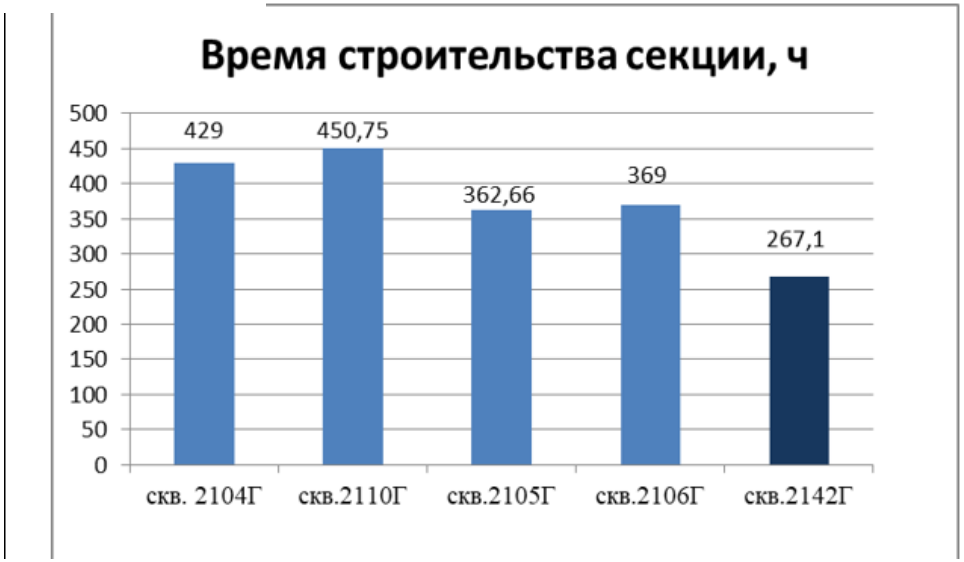
Отчет «Подбор эффективных ингибиторов для Petro Cap (секция 245 мм м-ние им. Р. Требса)» // ООО «ИСК «ПетроИнжиниринг». – 12.2015. – 6 с.

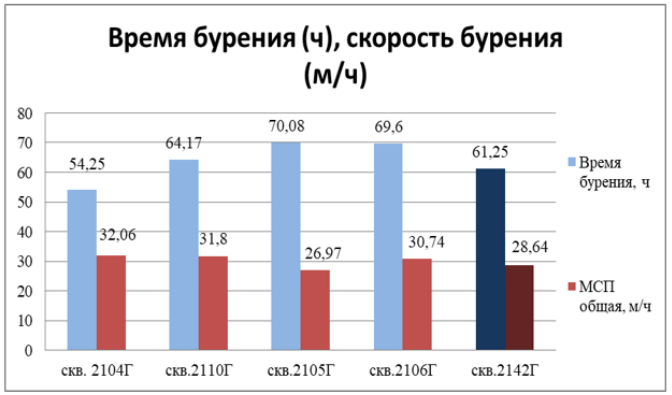
Прямая эмульсия **RevMul Petro** на основе лучшей рецептуры

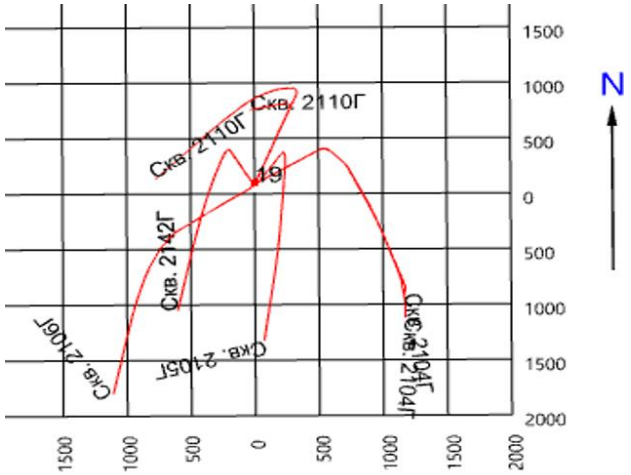
№	Наименование	Конц-ия кг(л)/м³
1	Xanthan Petro	1,5
2	Каустическая сода	0,63
3	Frodrill TS 705	4,50
4	Frodrill Pam 1040	4,50
5	Richmole component 100	8,00
6	ГКЖ-11П	3,00
7	Petro Mul W	9,00
8	EWO Base 3L	113,00
9	Баритовый концентрат	85,00
10	Микрокальцит МК	94,00
11	Petro ASF	10,00

ОТЧЁТ по бурению интервала под техническую колонну Ø245мм на месторождении им. Р.Требса куст №19 скв 2142Г с использованием системы бурового раствора RevMul Petro. 2020.

Результаты применения RevMul Petro на 1й опытной скважине м/р им. Р. Требса







ОТЧЁТ по бурению интервала под техническую колонну Ø245мм на месторождении им. Р.Требса куст №19 скв 2142Г с использованием системы бурового раствора RevMul Petro. 2020.

Выводы по результатам применения RevMul Petro на 6 скважинах м/р им. Р. Требса и А. Титова

1) Продолжительность строительства скважин в секции под ОК-245мм с использованием пресной прямой эмульсии RevMul Petro ниже, оказалось ниже, чем в аналогичных скважинах, где применялся недиспергирующий буровой раствор, при этом:

- Общее время, затраченное проведение тех. СПО, при шаблонировании ствола опытных скважин меньше (при равном количестве СПО),
- Среднее время спуска ОК-245мм ниже на опытных скважинах,
- Время механического бурения в целом не изменилось;

2) При использовании прямой эмульсии RevMul Petro отмечено снижение объёмов приготовления и сбросов бурового раствора вследствие:

- уменьшения продолжительности проработок (меньше количество глинистого шлама),
- уменьшение интенсивности диспергирования глинистого шлама (медленнее наработка)

Опыт применения прямой эмульсии RevMul Petro

- ХМАО

М-ие Западно-Эргинское при бурении секции транспортного ствола (фроловская свита, бажен), 11 хвостовиков в интервале абалакской свиты
(***эмульсия на основе бинарного раствора Petro Pol NaCl+KCl и нефти***)

- НАО

М-ие Верхне-Ипатское при бурении секции транспортного ствола и хвостовика в интервале D3fm (k_a< 1,0)
(***эмульсия на основе раствора Petro Pol KCl и масла EWO BASE 3L***)

М-ие им.Р.Требса, им.А.Титова при бурении в интервале активных глин и обвалоопасных аргиллитов и углей технической колонны
(***эмульсия на основе пресного раствора Petro Cap и масла EWO BASE 3L***)

- Республика Коми

М-ие Кыртаельское при бурении секции эксплуатационной колонны в интервале D3tm+sr
(***эмульсия на основе раствора Petro Pol KCl и масла И5А***)

- Волгоградская область

М-ие Антипово-Балыклейское при бурении секции хвостовика в интервале горизонтального участка D3fm 6036-6534м с АНПД (k_a< 0,8)
(***эмульсия на основе раствора Petro Pol KCl и масла И5А***)

- Оренбургская область

М-ие Воронцовское при бурении секции эксплуатационной колонны в интервалах неустойчивых отложений C2vr, C1rd-C1bb
(***эмульсия на основе бинарного раствора Petro Pol NaCl+KCl и нефти***)