ГРУППА КОМПАНИЙ «ПОЛИЦЕЛЛ», «СПЕЦБУРМАТЕРИАЛЫ» И «НАЦИОНАЛЬНЫЙ БУРОВОЙ СЕРВИС»

«РЕАГЕНТЫ И МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА, ЭКСПЛУАТАЦИИ И РЕМОНТА НЕФТЯНЫХ, ГАЗОВЫХ СКВАЖИН: ПРОИЗВОДСТВО, СВОЙСТВА И ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА»

МАТЕРИАЛЫ
XX Международной научно-практической конференции
(7-10 июня 2016 г.)

ООО «Аркаим»
г. Владимир, 2016

УДК 622.276
ББК 38.73-03
Р31

В сборнике представлены материалы докладов, посвященных химическим реагентам на основе эфиров целлюлозы и крахмала, смазочным добавкам, кольматантам, ингибиторам коррозии и др., их свойствам, практическому применению в нефтегазовом комплексе, в том числе в составе промывочных и технологических жидкостей при бурении, строительстве, ремонте и эксплуатации скважин.

Сборник рассчитан на инженерно-технических работников, инженеров по буровым растворам и специалистов, занимающихся исследованием и применением реагентов в нефтяном и газовом комплексе.

Материалы опубликованы в авторской редакции.

Составитель – к.х.н. В.Н.Кряжев

Р31 Реагенты и материалы для строительства, эксплуатации и ремонта нефтяных, газовых скважин: производство, свойства и опыт применения.

Экологические аспекты нефтегазового комплекса: материалы XX Международной научно-практической конференции (7-10 июня 2016г.)/ Полицелл, Спецбурматериалы, Нац. буров. сервис. - Владимир: Аркаим, 2016. - 172 с., илл.

УДК 622.276
ББК 38.73-03

ISBN 978-5-93767-176-9

2. *Межгосударственный стандарт ГОСТ ИСО / МЭК 17025-2009 «Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий», Москва, Стандартинформ, 2012, с. 28.*
3. *JCGM 200:2008 «International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM)», JCGM, 2008, pp. 90.*
4. *ISO / IEC Guide 98-1:2009 «Uncertainty of measurement – Part 1: Introduction to the expression of uncertainty in measurement».*
5. *ISO / IEC Guide 98-3:2008 «Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)»*
6. *Введение к «Руководству по выражению неопределенности измерения» и сопутствующим документам. Оценивание данных измерений / Пер. с анг. под науч. ред. д.т.н., проф. В.А. Слаева, д.т.н. А.Г. Чуновкиной. — СПб.: «Профессионал», 2011. — 58 с.: ил.*
7. *Оценка прослеживаемости и неопределённости измерений при аккредитации испытательных лабораторий по ГОСТ Р ИСО / МЭК 17025.*
8. *ИСО 10414-1:2008 «Нефтяная и газовая промышленность. Контроль буровых растворов в промысловых условиях. Часть 1. Растворы на водной основе»*
9. *ИСО 10414-2:2011 «Нефтяная и газовая промышленность. Контроль буровых растворов в промысловых условиях. Часть 2. Растворы на нефтяной основе»*
10. *ISO 13500-2008 Нефтяная и газовая промышленность. Материалы буровых растворов. Технические условия и испытания.*
11. *JCGM 106:2012 «Evaluation of measurement data – The role of measurement uncertainty in conformity assessment»*

РАЗРАБОТКА ВОСПРОИЗВОДИМОЙ МЕТОДИКИ ОДНООСНОГО СЖАТИЯ ИСКУССТВЕННЫХ КЕРНОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ИНГИБИРУЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ БУРОВЫХ РАСТВОРОВ

Бойков Е.В.[2], Гуськов П.О.[2], Евдокимов И.Н.[1,2], Лосев А.П.[1,2], Могильниченко М.А.[1,2], Савельева Я.Л.[2], Фесан А.А.[1,2]

[1] РГУ (НИУ) нефти и газа им. И.М. Губкина, НИЛ физических методов исследования пластовых флюидов и промысловых дисперсных систем кафедры физики, Москва; [2] ООО НИИЦ «Недратест», Центр физико-химических исследований, Москва, info@nedratest.ru;

Бурение скважин в неустойчивых глинах и аргиллитах зачастую может сопровождаться критическими осложнениями: нарушение устойчивости стенок скважины, осыпи и обвалы породы в скважину, прихват бурильных и обсадных колон, и как следствие – дальнейшая ликвидация скважины. Согласно последним имеющимся сведениям, 30 % непредвиденных расходов в процессе бурения являются результатом проблем деформационной неустойчивости ствола скважины, а нефтегазовая промышленность тратит до одного миллиарда долларов в год для их решения [1]. Возникающие осложнения в глинистых породах обусловлены их склонностью к разупрочнению при совместном действии двух факторов: воздействие бурового раствора и его фильтрата, сложнонапряженное состояние горных пород около скважины. Последнее, как правило, оказывается вне зоны влияния технологии бурения. Поэтому актуальной задачей было и остается выработка адекватных методов по подбору буровых растворов, проявляющих наиболее эффективные ингибирующие свойства.

При лабораторных исследованиях горных пород важное значение для получения наиболее точных и представленных данных имеет правильная методика изготовления и подготовки образцов пород к испытаниям. В частности, необходимо готовить образцы пород, однотипные по физико-механическим свойствам и вещественному составу, что позволяет делать количественную

оценку механических свойств породы и оценить влияния на них различных факторов на основании испытаний минимального количества образцов [2]. Это диктуется трудностью изготовления образцов и проведения испытаний, а также стремлением получить нужную информацию по небольшому количеству исходного материала для изготовления образцов. Последнее особенно существенно для практики бурения, так как при бурении нефтяных и газовых скважин цельного кернового материала отбирается мало. Во многих случаях, его вообще не удается получить из неустойчивых интервалов и о свойствах породы приходиться судить только по шламу. Изложенное послужило причиной того, что для получения информации о породах, необходимой для решения задач устойчивости стволов скважин, образцы для испытаний стали готовить искусственно – путем прессования из измельченного кернового материала и шлама. Современные методы исследования неустойчивых горных пород можно условно разделить на прямые (связанные с исследованием прочностных свойств) и косвенные. Наибольшее распространение имеют косвенные методы: Hot Rolling Test, Shale Pellet Test, исследование набухания, увлажнения и др. Результаты косвенных методов не всегда соответствуют данным промысловой практики, по-видимому, по причине изучения лишь одного из многих факторов разупрочнения породы в отдельности – гидратации, массопереноса, капиллярного смачивания. В противоположность косвенным методам, по мнению авторов настоящего доклада, изучение прочностных свойств горных пород и искусственных кернов в среде буровых растворов даст хотя и интегральную оценку, но вероятно более соответствующую промысловой практике. Поэтому было решено разработать методику по подбору эффективных ингибирующих растворов, изложенную ниже.

Оборудование пробоподготовки: барабанная мельница 260.21, «ФЕБ Специальномашиностроение»; рассев лабораторный РЛ-1 с таймером, ООО РНПО "РосПрибор"; сушильный шкаф с функцией конвекции UT-4620, ULAB; эксикатор с насыщенным раствором KCl; гидравлический пресс (производитель – «торговый дом СОРОКИН»); охлаждающий/нагревающий циркуляционный термостат Julabo F25, Julabo.

Измерительное оборудование: ИК-анализатор влажности «Эвлас–2М», Сибаргоприбор; автоматизированный и испытательный комплекс «АСИС» с устройством осевого нагружения ГТ 2.0.9, ООО НПП «Геотек» (*Рис. 1.*). Основные сведения об изделии и технические данные приведены в таблице 1.

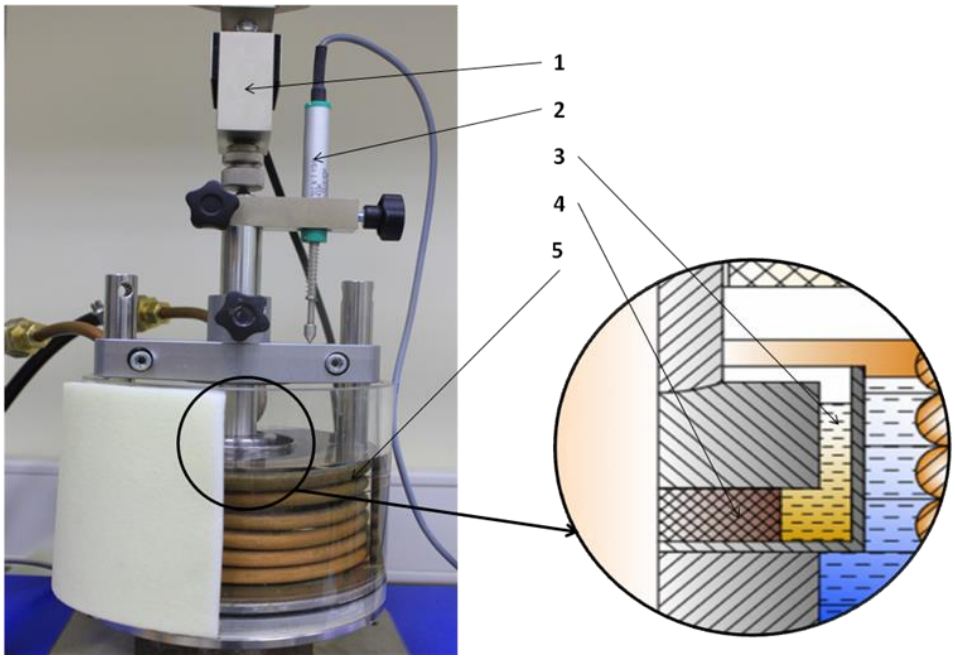

Рис. 1 Модифицированная установка одноосного сжатия: 1-датчик силы; 2-датчик линейных перемещений; 3-фильтрат бурового раствора; 4-искусственный керн; 5-терморубашка.

Таблица 1

Наименование параметра	Значение
Основные технические характеристики комплекса	
Вертикальная нагрузка, кН	0 - 5
Давление (боковое, поровое), МПа	0 - 2
Минимальная ступень создаваемой нагрузки, МПа	0,0125
Диапазон осевых (вертикальных) перемещений, мм	от 0 до 50
Диапазон осевых (горизонтальных) перемещений, мм	от 0 до 20
Скорость осевых перемещений	от 0,0001 до 10 мм/мин
Технические и метрологичсекие характеристики СИ "АСИС"	
Диапазон измерений давления, МПа	от 0 до 2
Диапазон измерения силы, МПа	от 0 до 50
Диапазон измерений линейного перемещения, мм	от 0 до 80
Пределы допускаемой приведённой погрешности измерений давления, %	±0,5
Пределы допускаемой приведённой погрешности измерений силы, %	±0,5
Пределы допускаемой приведённой погрешности измерений линейного перемещения, %	±0,2; ±0,5

Объекты исследования: немодифицированный бентонитовый глинопорошок ПБН ООО «Баулюкс»; шлам месторождения Р. Требса (куст 3/скв.№2031, куст 12/скв.№2055Г).

1. Пробоподготовка глиноматериала.

Поступивший в лабораторию шлам сортировали согласно осложненным интервалам. В результате в качестве исходного материала для изготовления искусственных кернов глинистых пород отобрали два интервала:

керн 1: 1580-2170 м, куст 12 – 1470-2080: глина – 82%, алевролит – 15%, песчаник – 3%;

керн 2: 2220-2530 м, куст 1 – 2230-2580 м: глина – 13%, аргиллит – 26%, алевролит – 45%, известняк – 15%, песчаник – 1%.

Сортированный шлам измельчали в барабанной мельнице до порошкового состояния. С помощью рассева лабораторного получали фракцию глинопорошков менее 160 мкм. Данная фракция выбрана таким образом, что размер частиц соответствует размерам частиц глинистых минералов, что слагают глинистую породу. Далее отбирали навеску 20 г каждого из образцов, помещали в предварительно высушенную до постоянной массы взвешенную чашу и сушили в сушильном шкафу при температуре 110 °С до тех пор, пока разность между последовательными взвешиваниями будет не более 0,02 г. Первое взвешивание – через два часа, повторные – каждые 30 минут до постоянной массы. Перед взвешиванием пробы охлаждали в эксикаторе с прокаленным хлоридом кальция до температуры окружающей среды (по ТУ 39-0147001-105-93). Образцы находились в сушильной камере не более 4 ч.

2. Определение динамики увлажнения испытуемых образцов.

Каждую из проб помещали в эксикатор с насыщенным раствором хлорида калия (355 г/л). Относительная влажность воздуха над раствором составляет 85 % при температуре окружающей среды 25 ºС. Используя ИК-анализатора влажности «Эвлас–2М», определяли динамику увлажнения образцов глинопорошков от времени их нахождения в эксикаторе. Влагомер работал в режиме ПОРОГ/ОПРОС: 110°С – 0,01%. В результате для каждого из образцов получали следующие виды зависимостей (*Рис. 4*). Анализируя данный вид зависимостей видно, что характер динамики увлажнения для каждого типа шлама одинаков, индивидуальным параметром является их максимальная гигроскопическая влажность (это максимальное количество воды, которое может сорбировать глинопорошок), которая коррелируется с содержанием глинистых минералов в исследуемом образце. Большему содержанию глинистых частиц соответствует большее значение гигроскопической влажности. Для исключения возможной в последствие

несходимости результатов, связанной с неодинаковостью значения влажности образцов перед испытанием было решено выдерживать глинопорошок перед испытанием до его максимальной гигроскопической влажности.

3. Изготовление искусственных образцов в форме прессованных «таблеток».

Искусственные керны готовили путем прессования образцов шлама в гидравлическом прессе. Отбирали навеску насыщенного до максимальной влажности глинопорошка массой 5±0,1 г. Пробу помещали в пресс-форму (Рис. 2) диаметром 20 мм и устанавливали в пресс. Задавали уплотняющую вертикальную нагрузку 90 МПа (13000 psi) и поддерживали ее в течение 15 минут. Данного времени хватает для получения образцов равной прочности. При уплотнительной нагрузке в пределах 13000 psi удельный вес изменяется от 2,0÷2,2, а полученные образцы по механическим свойствам соответствуют естественному массиву [3]. Адгезию торцевой части пресс-формы и образца исключали прокладками из фильтровальной бумаги. Высота полученной формованной «таблетки» лежит в интервале 7,0÷7,5 мм (Рис. 3), в зависимости от удельного веса исследуемого глиноматериала. Поскольку искусственный керн, изготовленный прессованием, находится в термодинамическом неустойчивом состоянии, а именно происходит изменение прочностных характеристик искусственного образца, поэтому все испытания проводили со сразу приготовленными образцами. Временной интервал с момента приготовления до начала испытания составлял не более 3 минут.

Рис. 2 Пресс-форма.

Рис. 3 Искусственный керн.

Испытание на прочность прессованных «таблеток».

Чтобы давать количественную оценку изменениям механических свойств искусственных образцов горных пород, необходимо готовить образцы пород однородные по физико-механическим свойствам и вещественному составу. В качестве критерия однородности приготовленных искусственных кернов мы выбрали предел прочности, в связи с доступностью проведения данного испытания и его высокой точности. Испытания на прочность проводили на модифицированном автоматизированном испытательном комплексе АСИС, оснащенным устройством осевого нагружения ГТ 2.0.9 (*Рис. 1*). Искусственный образец 4 помещали в емкость и зажимали стальными штампами. На стальной штамп через вертикальный стальной шток передавали вертикальную нагрузку. Центральное нагружение образцов контролировали стальным штоком. Скорость нагружения составляла 0,1 МПа/с. Значения напряжения на образец фиксировали датчиком силы 1. Изменения линейных деформаций искусственного образца фиксировали датчиком линейных перемещений 2. Для каждого типа шлама разрушали серию из 5 образцов. По результатам испытания получали семейство кривых разрушения искусственных кернов по типу шлама (*Рис. 5*). Для определения физико-механической однотипности искусственных образцов оценивали относительную погрешность предела прочности для каждого рода таблеток. По результатам которых было получено, что погрешность предела прочности,

оценивающего прочностные свойства на сжатие, составляется не более 5% для каждого типа шлама.

4. *Одноосное сжатие прессованных «таблеток» в среде фильтратов буровых растворов под действием постоянной вертикальной нагрузки.*

Убедившись в однородности прессованных таблеток, приступили к основной экспериментальной части, а именно проводили испытания прессованных таблеток на одноосное сжатие в среде фильтратов буровых растворов при постоянной вертикальной нагрузке. Нагрузку задавали в пределах 2÷5 % от предела прочности прессованных таблеток. Данный вид нагрузки позволяет получить результаты с хорошим разрешением по времени. В результате испытания получали кривые ползучести – зависимость относительной деформации от времени нагружения (*Рис. 6*). Но на ранних стадиях исследования была замечена невоспроизводимость результатов. Было установлено существенное влияние температуры на результаты измерений. Для исключения возникшей проблемы мы модифицировали установку одноосного сжатия, а именно осуществили постоянное термостатирование установки. Емкость с прессованным образцом и фильтратом бурового раствора 3 помещали в емкость с водой, постоянную температуру которой поддерживала медная терморубашка 5 с теплоносителем, подключенная к термостату. Для полного понимания физико-механических процессов, происходящих с образцом, кривая ползучести была проанализирована. Было выделено 4 области: 1 – мгновенное подсжатие образца в начальный момент времени, обусловленное выходном вертикальной нагрузки на заданное значение; 2 – после выхода нагрузки на заданное значение емкость с прессованным образцом заливали фильтратом бурового раствора и начиналось расширение – набухание образца; 3 – стабилизация деформаций; 4 – начала сжатия образца и его дальнейшее разрушение. Для оценки воспроизводимости результатов испытаний были проведены аналогичные испытания для каждого типа шламов в одинаковых условиях (температура 25 ^{o}C, постоянная нагрузка 200 кПа) в различных средах: дистиллированная вода, 5% и 10% растворах хлорида калия. Как видно из результатов, получена полная воспроизводимость кривых ползучести с погрешностью времени устойчивого состояние δT не более 0,5%, что соответствует высокой точности и достоверности экспериментов.

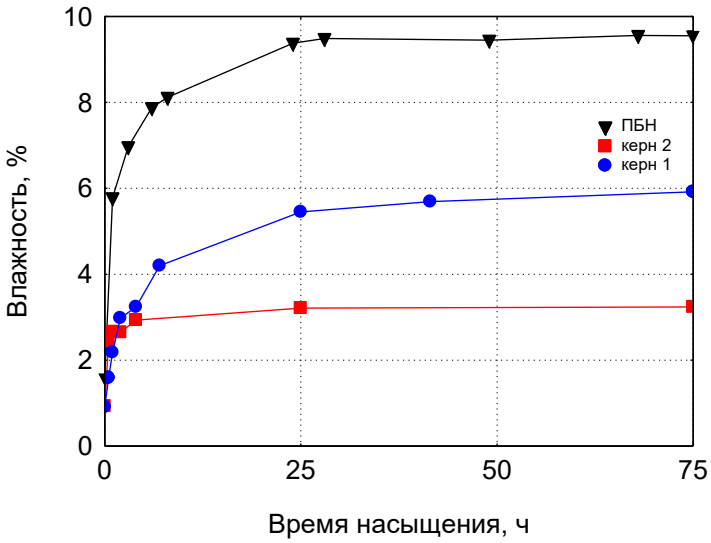

Рис. 4 Динамика увлажнения глинопорошков.

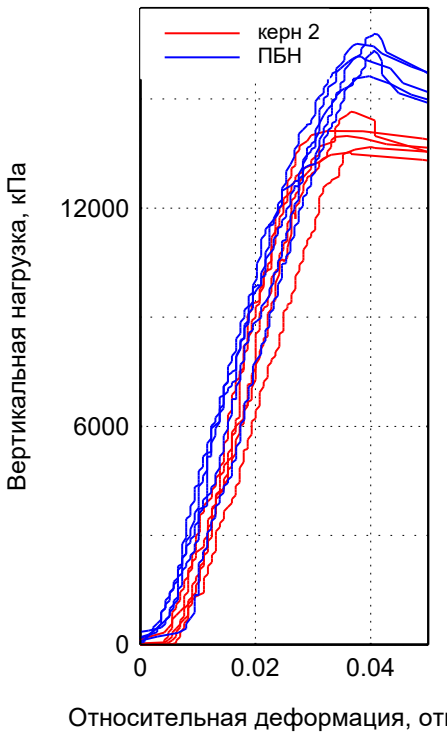

Рис. 5 Кривые разрушения искусственных кернов.

В качестве критерия оценки ингибирующей способности буровых растворов по кривым ползучести было выбрано время устойчивого состояния прессованных образцов. Согласно ГОСТ

12248-2010 «Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости» разрушение глинистых образцов происходит при достижении относительной вертикальной деформации ε=15% . Таким образом, чем выше время устойчивого состояния образца в фильтрате бурового раствора, тем эффективнее ингибирующие свойства данного бурового раствора.

На сегодняшний день разработанная методика испытаний прессованного шлама в условиях одноосного сжатия прошла промысловое апробирование на объектах работ ООО «ИСК «ПетроИнжиниринг» и ЗАО «Бейкер Хьюз» в Республике Коми, ХМАО, ЯНАО, Саратовской области (изменены рецептуры буровых растворов). На всех объектах получена сходимость результатов бурения по параметру «время устойчивого состояния». А именно, на всех скважинах, где была скорректирована рецептура буровых растворов по результатам наших исследований, получено сокращение сроков строительства по причине существенного снижения или полного отсутствия осложнений, связанных с устойчивостью ствола. Содержание методики прошло апробацию в академической среде в ходе Открытого научного семинара кафедры физики РГУ (НИУ) нефти и газа им. И.М. Губкина. С участием специалистов ИПНГ РАН, Лаборатории геомеханики ИПМех РАН и буровых компаний.

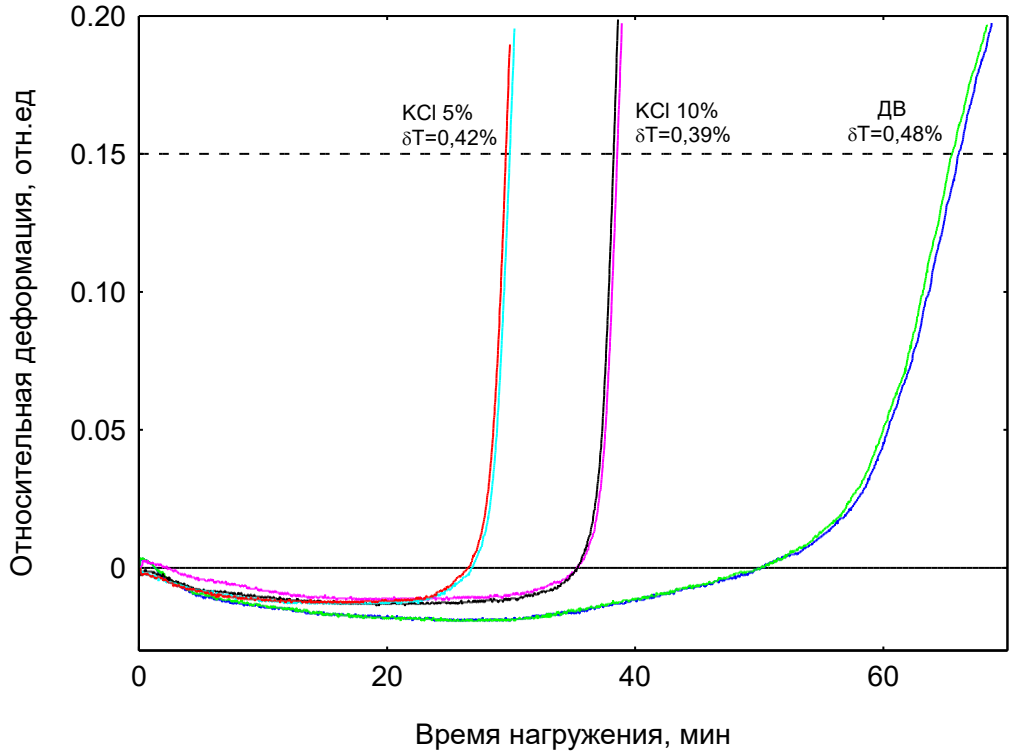

Рис. 6 Кривые ползучести и их воспроизводимость для керна 2; ДВ – дистиллированная вода.

Литература

1. *Pasic B., Gairina-Medjimurec N., Moslavac D. Application of Artificial Clay Samples (Pellets) in Laboratory Testing of Shale/Drilling Fluid Interaction // ASME 2013 32nd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering. – 2013. – Vol. 6. – 10211;*
2. *Войтенко В.С. Прикладная геомеханика в бурении. − М.: Недра, 1990. − 252 с;*
3. *Edwin A. Roehl and James L. Hackett. A Laboratory Technique for Screening Shale Swelling Inhibitors // Society of Petroleum Engineers – 1982. –SPE1117.*