



УДК 622

## ПРИМЕНЕНИЕ СМАЗОЧНЫХ ДОБАВОК В БУРОВЫХ РАСТВОРАХ

### USE OF LUBRICANTS IN DRILLING FLUIDS

**Мойса Юрий Николаевич**  
кандидат химических наук,  
директор,  
ООО «НПО «Химбурнефть»  
id.yug2016@gmail.com

**Moisa Yuri Nikolaevich**  
Candidate of Chemical Sciences,  
Director,  
NPO Khimburneft LLC  
Id.yug2016@gmail.com

**Аннотация.** В статье рассмотрены аспекты применения смазочных добавок – лубрикантов в буровых растворах (БР) и технологических жидкостях (ТЖ).

**Annotation.** The article considers the aspects of application of lubricating additives – lubricants in drilling fluids (BR) and process fluids (TL).

**Ключевые слова:** смазочные добавки, буровые растворы.

**Keywords:** lubricants, drilling fluids.

*Памяти А.И.Булатова – талантливого организатора,  
ученого, заслуженного нефтяника, целеустремленного труженика  
и безгранично любящего Кубань и Россию гражданина*

#### **В**ведение

С началом нефтепромысловых работ на Таманском и Апшеронском полуостровах Кавказа связана эпоха промышленного бурения скважин на нефть в России. Первая нефтяная скважина промышленным способом была пробурена в 1864 г. на Кубани под руководством А.Н. Новосильцева методом ударного бурения с приводом от паровой машины. На нефтяной вышке – памятном обелиске около села Киевского Крымского района приведены слова Д.И. Менделеева: «Имя первого бурильщика Кубанского края А.Н. Новосильцева, надо думать, не забудется в России» и И.М. Губкина: «Долина реки Кудако является колыбелью нефтяной промышленности России» [1].

Д.И. Менделеев был первым (1876 г.) ученым, применившим методы микрохимического исследования для изучения состава нефти. Работы Н.П. Петрова (1883 г.), создателя гидродинамической теории смазки о внутреннем трении смазочных масел по сей день являются основой для подбора смазочных материалов и создания методов, измеряющих вязкостные и капиллярные свойства масел [2]. Большой вклад в области исследований смазочных дисперсий и эмульгирующих свойств различных эмульгаторов в жидких средах внесли работы по изучению гидрофильно-липофильного баланса [3, 4, 5]. Основные типы отечественных пластичных смазок, смазочных материалов и технических жидкостей для узлов трения изложены [6, 7]. Теоретические основы практического применения различных смазочных добавок и смазочно-охлаждающих жидкостей, методы испытаний смазочных материалов в машинах и механизмах, а также международные нормы и требования к смазочным материалам (лубрикантам) подробно представлены в современном справочнике Т. Манга и У. Дрезеля [8].

Аспекты применения смазочных добавок – лубрикантов в буровых растворах (БР) и технологических жидкостях (ТЖ) занимают особое важное место в технико-технологических, экономических и экологических показателях успешности строительства нефтегазовых скважин. Технология бурения любых скважин состоит в разрушении горных пород на забое долотом и удалении продуктов разрушения с забоя на поверхность путем принудительной циркуляции БР (промывочной жидкости) в скважине. Основные технические функции БР заключаются в очистке забоя и ствола скважины от выбуренной породы, в создании противодавления над пластовым давлением с целью предупреждения неуправляемого притока пластового флюида, кроме того, БР должен обеспечивать смазывание и охлаждение бурового инструмента, стабилизацию стенок открытого ствола скважины и максимальное сохранение коллекторских свойств продуктивного пласта при первичном вскрытии бурением [9].

Для промывки скважин от выбуренной породы в процессе бурения в большинстве случаев заменяют БР на водной основе (РВО), реже используют прямую или обратную эмульсию на углеводородной основе (РУО). Современные РВО и РУО представляют собой сложные полифункциональные полидисперсные системы, регулирование физико-химических и технологических свойств которых осуществляется комплексом химических реагентов: регуляторов вязкости и тиксотропной структуры раствора, понизителей фильтрации (водоотдачи), смазочных и противоприхватных добавок, ингибиторов глин, кольматантов, пеногасителей, утяжелителей и других добавок [10].

Управление технологическими параметрами БР является задачей управления сложной нетрадиционной химико-технологической дисперсной системой, постоянно изменяющейся по минералогии



ческому составу и зависящей от горно-геологических условий (температуры, давления) залегания пластовых флюидов и разбуриваемых пород. Развитие науки об управлении технологическими свойствами БР начинается в России с 30-х годов прошлого столетия исследованиями Шищенко Р.И., Баранова В.С., Ребиндера П.А., Дерягина Б.В. с продолжением в работах Кистера Э.Г., Городнова В.Д., Михеева В.Л., Овчаренко Ф.Д., Сухарева С.С., Жигач К.Ф., Ятрова С.Н., интенсивным развитием в 70–90-х годах специалистами различных научных и производственных организаций: Ангелопуло О.К., Бабалаян Г.А., Булатова А.И., Демикова В.И., Зарипова С.З., Липкеса М.И., Мухина Л.К., Пенькова А.И., Проселкова Ю.М., Мавлютова М.Р., Мариампольского Н.А., Кошелева В.Н., Резниченко И.Н., Рябченко В.И., Рязанова Я.А., Шеметова В.Ю., Чубик П.С. [11].

За рубежом история развития научного направления по технологии бурения скважин и БР представлена в работах общества инженеров-нефтяников (SPE, 1948–1953 гг.), публикациях 70–90-х годов Роджерса В.Ф., Бобо Р.А., в книгах Грей Д.Р., Дарли Г.С.Г., Бургойна А.Т., подробно описана в современном справочнике инженера-нефтяника Лайонза У.Р., Плизга Г.В., Митчелла Р.Ф., Лейка Л.В. [12].

### **Технико-технологические причины применения смазочных добавок в буровых растворах**

При строительстве нефтегазовых скважин большое значение отводится вопросам снижения энергоёмкости и аварийности процесса бурения путем применения БР с улучшенными триботехническими (смазочными, противоприхватными, притивоизносными) свойствами. Особенно сильно возникают проблемы, связанные с силами трения и ростом крутящего момента при вращении, с нагрузками при подъеме буровой колонны при бурении наклонно-направленных и горизонтальных скважин, а также при бурении боковых стволов малого диаметра с большими отходами от вертикали. Именно в таких условиях применение БР с повышенной смазочной способностью дает наиболее ощутимый положительный эффект. Улучшение триботехнических свойств зависит от химической природы органической основы смазочной добавки и ее концентрации в БР, от физико-химической способности снижать коэффициент трения в полидисперсной среде обогатленной выбуренной твердой минеральной фазой. Снижение коэффициента трения БР при бурении позволяет:

- снизить гидравлические сопротивления при промывке ствола скважины;
- уменьшить крутящий момент при вращении колонны буровых труб и снизить сопротивление при ее продольном перемещении в скважине;
- снизить вероятность возникновения дифференциальных прихватов и затраты на их ликвидацию;
- повысить ресурсы работы буровых труб и их соединений, гидравлических частей буровых насосов, забойных двигателей и породоразрушающего инструмента.

В качестве показателей триботехнических свойств обычно используют коэффициент трения пары «металл-металл» в среде БР, коэффициент потенциального дифференциального прихвата системы «буровые трубы – стенка ствола скважины», а также коэффициенты трения и липкости (трения) на границе «металл-глинистая корка» [10–12].

В настоящее время для ведущих отечественных нефтяных и газовых компаний НК «Роснефть», НК «Сургутнефтегаз», НК «ЛУКОЙЛ», РАО «ГАЗПРОМ» актуальным является дальнейшее совершенствование технологии бурения и систем БР с улучшенными триботехническими свойствами интегрированных с международными стандартами и адаптированных к различным горно-геологическим и климатическим условиям России.

### **Применение нефти и нефтепродуктов в буровых растворах**

Применение нефти в качестве смазочного материала узлов трения известно с древних времен. Применение нефти и продуктов переработки нефти в качестве смазочных добавок в РВО исторически совпадает с бурным развитием строительства разведочных и эксплуатационных нефтегазовых скважин. Оптимальное содержание нефти в БР в зависимости от ее плотности и температуры составляет 8–10 % объемных. Для обработки РВО рекомендуются нефти плотностью 0,83–0,89 г/см<sup>3</sup> в сочетании с поверхностно-активными веществами (ПАВ), обладающими высокой поверхностной активностью и повышающими диспергируемость нефти в РВО. При этом улучшается процесс бурения: снижается коэффициент трения между трубами и фильтрационной коркой, уменьшается опасность прихватов, повышается эффективность работы долота, снижаются гидравлические сопротивления.

В зависимости от геолого-технических условий бурения расход нефти в качестве технологической добавки в РВО составляет 50–100 кг на 1 м проходки, а годовой расход нефти для профилактики прихватов и осложнений в процессе проводки скважин в 80-е годы по России составлял 0,5–0,6 млн тонн [13].

По внешнему виду нефть представляет собой жидкость от светло-коричневого до темно-бурого, чёрного цвета с плотностью от 650 до 1050 кг/м<sup>3</sup> и кинематической вязкостью от 1,98 до 265,90 мм<sup>2</sup>/с. Вязкость нефти определяется фракционным составом нефти и содержанием смолисто-асфальтеновых веществ. В состав нефти входят углеводороды (80–90 %), гетероатомные соединения (сернистые, азотистые, кислородные; до 4–5 %) растворённые углеводородные газы (C<sub>1</sub> – C<sub>4</sub> до 4 %). Химический состав углеродных составляющих нефти Кубани скв. № 30 Западно-Ахтанизовского месторождения (забой 1479 м) представлен на спектре ядерного магнитного резонанса (ЯМР) <sup>13</sup>C на рисунке 1.

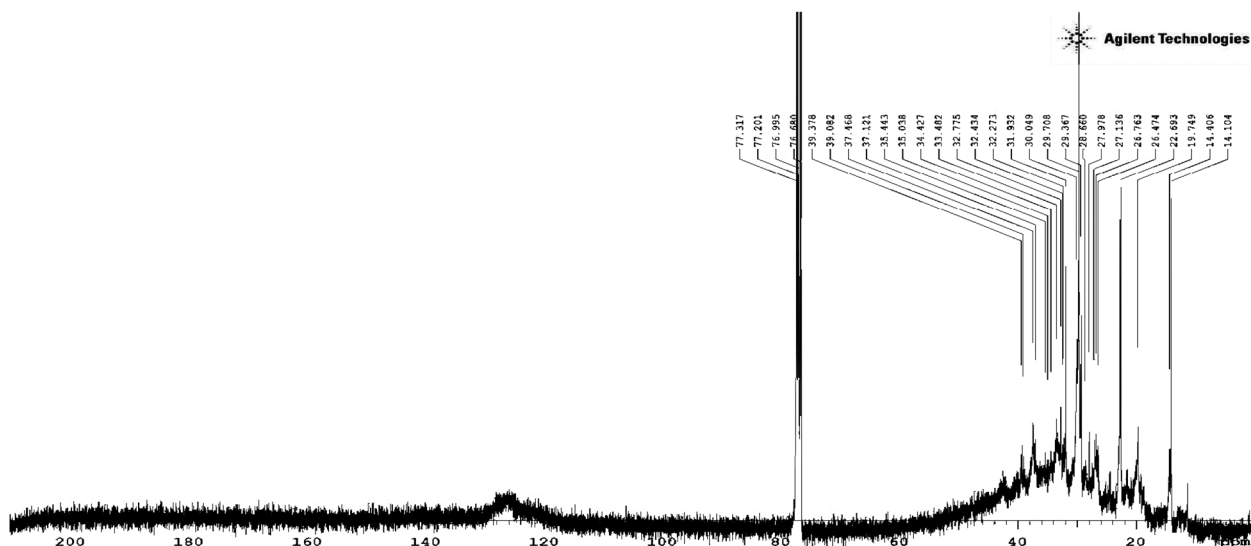


Рисунок 1 – Спектр ЯМР  $^{13}\text{C}$  образца товарной нефти Кубани скв. № 30 Западно-Ахтанизовская

Сигналы углерода  $^{13}\text{C}$  в области химических сдвигов 14–39 м.д. принадлежат атомам углерода алифатических групп в алканах, сигналы в области 110–120 м.д. атомам углерода ароматических колец, при сдвиге 79 м.д. сигнал углерода растворителя  $\text{CDCl}_3$ . Представленный спектр ЯМР  $^{13}\text{C}$  образца товарной нефти Кубани прекрасно иллюстрирует, что основную массу нефти составляют углеводороды трех гомологических рядов – алканы ( $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$  – парафины, метановые углеводороды, алканы до 30–35 %), циклоалканы ( $\text{C}_n\text{H}_{2n}$  – циклопарафины, нафтены, цикланы до 25–75 %) и арены ( $\text{C}_n\text{H}_{2n-6}$  – моноциклические ароматические углеводороды, бензольные углеводороды, арены до 10–20 %). Элементный состав нефти в %: 83,0–87,0 С; 11,0–14,5 Н; 0,01–6,0 S; 0,01–1,8 N; 0,05–3,6 O, также в нефти могут присутствовать ванадий, никель, хлор и другие элементы. При использовании сырой нефти в технологических процессах строительства скважин «выветривают», так как она является легковоспламеняющейся жидкостью, с температурами вспышки в диапазоне от  $-35\text{ }^\circ\text{C}$  до  $+121\text{ }^\circ\text{C}$  в зависимости от фракционного состава и содержания в ней растворённых газов. Нефть в обычных условиях нерастворима в воде, но может образовывать с ней стойкие эмульсии [14].

Применять нефть – ценный топливо – энергетический материал и незаменимое сырье химической, нефтехимической промышленности для технологических нужд бурения следует в ограниченных случаях. Более целесообразно использовать продукты переработки нефти, например, «СМАД-1» – композицию окисленного петролатума в дизельном топливе в соотношении 1 : 1. По техническим условиям смазочная добавка «СМАД-1» вязкая жидкость плотностью  $0,9\text{ г/см}^3$ , с кислотным числом (КЧ) в мг КОН на 1 г продукта – 20, температурой застывания –  $0\text{ }^\circ\text{C}$ , поверхностным натяжением  $0,5\%$  раствора «СМАД-1» в дизельном топливе на границе с дистиллированной водой – 20 мН/м. Смазочная добавка «СМАД-1» горючая жидкость с температурой вспышки не ниже  $65\text{ }^\circ\text{C}$ . Оптимальная концентрация «СМАД-1» для неутяжеленных буровых растворов 0,5–1 %, а для утяжеленных 1,5–2 % объемных. По данным работы [15] добавка «СМАД-1» превосходит по своей эффективности ряд зарубежных смазочных добавок на нефтяной основе типа «Битлуб», «Мадоил» и других. Рекомендуется «СМАД-1» применять в РВО при бурении пресными, минерализованными, неутяжеленными и утяжеленными БР, имеющими  $\text{pH} = 10$  и содержащими ионы кальция и магния не более 400 мг/л. Используются также для РВО другие смазочные добавки на основе продуктов и отходов переработки нефти: продукты нейтрализации кислотных гудронов производства сульфонатных присадок «Карпатол-1» и «Карпатол-2», смазочная добавка на основе производства присадок «ИХП-101» и «ИХП-21», смазочная и антиприхватная добавка «ОППН», которые по своей эффективности действия близки или в некоторых случаях превосходят «СМАД-1» [16,17].

Смазочные добавки на основе нефти и нефтепродуктов имеют ряд существенных недостатков при применении в РВО: искажают результаты геофизических исследований, загрязняют окружающую среду, пожаровзрывоопасны и застывают при отрицательных температурах. Кроме того, при остановках бурения и прекращении промывки ствола скважины по техническим и технологическим причинам смазочные добавки на основе нефти и нефтепродуктов мигрируют по стволу скважины на поверхность, создавая прихватоопасные условия для низа бурильной колонны. Промысловыми данными также многократно установлено, что при бурении глубоких скважин, где забойные температуры более  $150\text{ }^\circ\text{C}$  происходит снижение смазочных свойств БР обработанных нефтью [18]. Другой аспект применения нефти и нефтепродуктов в системах РВО также имеет ряд существенных технологических ограничений по пожаровзрывобезопасности и экологичности. Федеральными нормами и правилами в области промышленной безопасности «Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности» регламентируется температура вспышки раствора РВО, которая должна на  $+50\text{ }^\circ\text{C}$  превышать



максимально ожидаемую температуру раствора на устье скважины [19]. Поскольку нефть является важным энергетическим и химическим сырьем, экономия расхода и полное исключение ее применения в технологических процессах строительства скважин – большая экономическая и экологическая задача. Снижение потребления нефти для целей бурения и ее полное исключение применения в БР будет способствовать улучшению условий охраны труда работников и сохранения гидросферы и литосферы нефтегазовых месторождений.

### **Современное состояние и тенденции применения смазочных добавок в буровых растворах**

Современными приоритетными тенденциями в области разработки и применения смазочных добавок в РВО и РУО являются:

1. Экологичность смазочных добавок в отношении окружающей среды. В мировой практике для выпуска смазочных добавок используют продукты химического и нефтехимического синтеза (минеральные и растительные масла, сложные эфиры, многоатомные спирты, полигликоли), а также продукты и жиродержащие отходы пищевых производств.

2. По химическому строению современные смазочные добавки – лубриканты (lubricants, LU) для обработки РВО и РУО представляют собой сложные многокомпонентные композиции, обладающие полифункциональным действием на технологические параметры промывочной жидкости в различных интервалах бурения скважины.

3. Эффективность действия смазочных добавок часто повышают введением поверхностно-активных веществ (ПАВ, детергентов, дисперсантов), обеспечивающих высокую коллоидную растворимость жиров, масел и углеводов в БР.

4. По агрегатному состоянию большинство смазочных добавок представляют собой жидкости, пасты или твердые вещества (сыпучие порошки, гранулы).

При бурении геологоразведочных и эксплуатационных нефтегазовых скважин в России в районах, характеризующихся разнообразием климатических и горно-геологических условий с высокими температурами и солевой агрессией, наличием толщ проницаемых отложений и неустойчивых пород, сложными конструкциями скважин и компоновок низа бурильных колонн, сложной пространственной конфигурацией скважин, интенсивным ростом глубин скважин огромное значение отводится вопросам разработки и применения РВО с улучшенными смазочными свойствами.

Актуальной остается задача создания смазочных добавок с улучшенными антифрикционными (по сравнению с нефтью) как для целей массового бурения на РВО, так и для бурения скважин с высокими температурами и давлениями, задача снижения и полного исключения потребления нефти и нефтепродуктов, предотвращения загрязнения окружающей среды при бурении скважин на нефть и газ, в первую очередь для экологически уязвимых регионов Урало-Поволжья, Северного Кавказа, Западной и Восточной Сибири, Сахалина, Крайнего Севера, на шельфе РФ.

В большей степени для решения указанной задачи отвечают разработка смазочных добавок на основе растительных и животных жиров, соапстоки и смеси гудронов черноплодного масла (госсиполовая смола), масложировых предприятий, а также талловое масло, остатки канифольно-экстракционного производства лесохимической промышленности. Смеси гудронов соапстоков растительных масел и животных жиров, а также продукты омыления госсиполовой смолы можно считать наиболее экономически приемлемыми продуктами в качестве смазочных добавок к РВО. Недостатками этого типа смазочных добавок является низкая температура застывания, в зимнее время эти продукты загустевают и замерзают, что затрудняет их применение [20].

Несомненный практический интерес представляет применение в качестве смазочных добавок к РВО и РУО различных ПАВ. Так, например, добавление к технической воде анионного типа ПАВ (0,1 % сульфанола) значительно повышает противознозные свойства раствора, а смесь сульфанола с неионогенным «ОП-10» в пресных и минерализованных растворах позволяет не только улучшить смазочные свойства, но и предотвращать коррозионный износ стальной поверхности.

Применение неионогенного «ДС-10», представляющего собой оксисилированный высокомолекулярный ( $C_{16} - C_{18}$ ) жирный спирт, в сочетании со смесью гудронов соапстоков растительных и животных жиров позволяет значительно повысить показатели смазочных свойств глинистых растворов, минерализованных солями кальция. Омыленные жирные кислоты и синтетические жирные кислоты высшего ряда ( $C_{14}$  и выше) также являются весьма эффективными смазочными добавками для буровых растворов, однако они ограниченно диспергируются в буровых растворах на водной основе и склонны к застыванию, даже при температурах плюс 15–18 °С [21].

Первостепенная тенденция современных разработок смазочных добавок для РВО и РУО в России – это экологичность и повышенные смазочные и эксплуатационные триботехнические свойства материалов.

Другой современной тенденцией в области разработки и применения смазочных добавок в отечественной нефтегазовой промышленности является создание многофункциональных смазочных материалов с дополнительными свойствами, положительно влияющими не только на основные технологические свойства буровых растворов такие как показатель фильтрации, вязкость, но и на специальные, например, ингибирующие по отношению к глинистым минералам или улучшенные поверхностно-активные свойства для целей сохранения коллекторских свойств нефтегазовых пластов.

Анализ зарубежной информации и патентов в области смазочных добавок (лубрикантов и детергентов) к буровым растворам показывает, что большинство фирм-производителей химических материалов



для бурения выпускают смазочные и антиприхватные добавки, представляющие собой многокомпонентные композиции на основе различных смесей высокомолекулярных углеводородов и ПАВ, обладающие комплексным действием на технологические свойства БР. В мировой практике особое место занимают смазочные добавки – лубриканты положительно влияющие на поверхностно-активные свойства фильтратов буровых растворов, используемых при бурении скважин на нефть и газ.

Для вскрытия истощенных нефтегазоносных коллекторов зарубежными фирмами предлагаются полифункциональные смазочные добавки марок «BIO-DRILL» и «LUBE-167» (M-I DRILLING FLUIDS, США). В таблице 1 приведены некоторые марки смазочных добавок, производимых зарубежными фирмами в соответствии с международной промысловой практикой и терминологией Американского нефтяного института (API) и Американской ассоциацией буровых подрядчиков (IADC) [22].

**Таблица 1** – Некоторые марки смазочных добавок, производимых зарубежными фирмами

МАРКА	ОПИСАНИЕ ПРОДУКТА	ФИРМА
ACQUAFLOW	Низкотоксичный смазочный материал	FLOWSA
ANCO-SLIP	Смазывающий материал на основе графита	Anchor
AVAGREEN-LUBE	Природная смазка из сложных эфиров	AVA
ECOL-LUBE	Биологически разлагаемый смазочный материал	AVA
AQUA MAGIC	Смазывающий материал от дифферен. прихватов	BH INTEQ
BIO-SPOT	Смазывающий материал для экстрем. давлений	BH INTEQ
SACK SPOT	Смазочная добавка для буровых растворов	CESCO
WBL 1600	Смазочный материал на водной основе	CESCO
DRILL-FREE, BIO-DRILL, LUBE 167	Высокоэффективные биоразлагаемые смазочные материалы	M-I DRILLING FLUIDS
PRO-LUBE	Термостойкий смазывающий материал	PROGRESS
ENVIRO-BEADS	Экологически чистая смазочная добавка	PROGRESS
PBO-PIPE PULL	Биоразлагаемая смазывающая добавка	PROGRESS
PIPE-LAX ENV	Смазочная добавка на природных эфирах	M-IDF
IK-LUBE	Экологическая смазка, ингибитор глин	STREAM LINE
DYNA-DRILL	Бурильный смазочный материал, стабилизатор	BAKER
QUIK-FREE	Смазочная добавка на природных жирах	BAROID
EZ-SPOT	Смазывающая добавка антиприхватная	BAROID
TORKEASE	Биоразлагаемый смазочный материал	DSC
RADIA GREEN	На основе сложных эфиров смазка для бурения	OLEON
LUBRICANT GP	Многоцелевого назначения термостойкая смазка	LAMBERTI
PRESANTIL	Смазывающий материал для экстрем. давлений	LAMBERTI
ADF-FREE	Смазочный материал на водной основе	ADVANCED
TORQUE LUBE	Биологически разлагаемая смазочная добавка	FRONTIER
CLEAN SPOT	Высокоэффективный смазочный материал	ALPINE
QUICK MIX	Многоцелевого назначения смазка	ALPINE

Из представленных в таблице 1 данных видно, что ведущими зарубежными химическими фирмами «CESCO», «AVA», «PROGRESS», «VENTURE», «LAMBERTI», «ALPINE», производятся в большинстве случаев экологичные полифункциональные смазочные добавки которые применяются в рецептурах PBO и PYO сервисными буровыми компаниями: «BAROID», «M-1 DRILLING FLUIDS», «MESSINA» и другими. Основной ассортимент смазочных добавок рекомендуется для буровых растворов на водной основе (PBO) и незначительная часть для промывочных систем на нефтяной и синтетической основе (PYO).

В России для нефтяной, газовой и геологоразведочной промышленности в последнее время разработан широкий ассортимент высокоэффективных экологически безопасных смазочных добавок – лубрикантов на основе природных растительных и животных жиров, исключая использование нефти и нефтепродуктов при бурении скважин. Марочный ассортимент некоторых смазочных добавок, промышленно выпускаемых в РФ приведен в таблице 2.



Таблица 2 – Марочный ассортимент некоторых смазочных добавок, промышленно выпускаемых в РФ

МАРКА	ОПИСАНИЕ ПРОДУКТА	ФИРМА
СмаД-АСН	Смазочная добавка на основе алкилкарбоновых кислот и ПАВ	ООО НПП «АЛЬФА-СЕРВИС»
Глитал, Политал, СМЭГ	Серия смазочных добавок для буровых растворов на основе таллового масла	ЗАО «ПОЛИЦЕЛЛ»
ЭКСТРА-С, БЕЛОЧКА	Смазочные добавки на основе сульфированных жиров	ЗАО «АГРОХИМ СПЕЦЖИР»
ДЕВОН-2	Смазочная добавка к буровым растворам	ООО НПП «ИКАР»
Биолуб-LVL, Атрэн-FK	Смазочные добавки на основе композиции соединений растительного происхождения с различного рода присадками	ГК «МИРРИКО»
СонБур, ДСБ-4ТТП	Смазочные добавки на основе таллового масла и керосина	ЗАО «ОПЫТНЫЙ ЗАВОД НЕФТЕХИМ»
LUBRITAL™	Смазочная добавка для буровых растворов сбалансированного состава с применением активных модифицированных жирных кислот	ООО «УРАЛХИМ»
ФК-Н, ФК-М, ФК-2000, ФК-2000 Плюс	Смазочные добавки на основе фосфолипидов, калийных солей и эфиров растительных масел	ООО «НПО «ХИМБУРНЕФТЬ»
Лубриойл, Гликойл	Смазочные добавки для бурения	ЗАО НПО «ТатХимПродукт»
Бурфлюб-БТ	Высокоэффективный смазочный материал на основе сложных эфиров	ПСК «БурТехнологии»
ТЕКБУР	Добавка смазочная на основе дистиллятных масел и присадок	ЗАО «ТЕКОЙЛ»
МТМ-1	Смазочная добавка для буровых растворов на основе жирных кислот	НВП «БАШИНКОМ»
OIL LUBE	Смазочная добавка для буровых растворов на основе природных модифицированных компонентов из сложных химических реакций.	ООО «ОйлСтар»
КСД	Комплексная смазывающая добавка порошкообразная	ЗАО НПО «ПРОМСЕРВИС»

Это смазочные добавки на основе: подсолнечного, рапсового, кукурузного масла и фосфатидного концентрата «ФК» и «ФК-2000», химическое строение которых представлено спектрами ЯМР атомов углерода <sup>13</sup>C на рисунке 2 и 3, «ЛУБРИ-М»; таллового масла «ЭКОС-Б», «ГЛИТАЛ», «ПОЛИТАЛ», «СМЭГ», «ЛУБРИТАЛ»; рыбьего и животного жира «ТРИБОС», «МОРЖ», «ЭКСТРА-С» (ЯМР спектр <sup>13</sup>C на рис. 4); на основе продуктов нефтехимии «СПРИНТ-33», «СОНБУР», «ДЕВОН-2» (ЯМР спектр <sup>13</sup>C на рис. 5) и другие добавки (см. табл. 2).

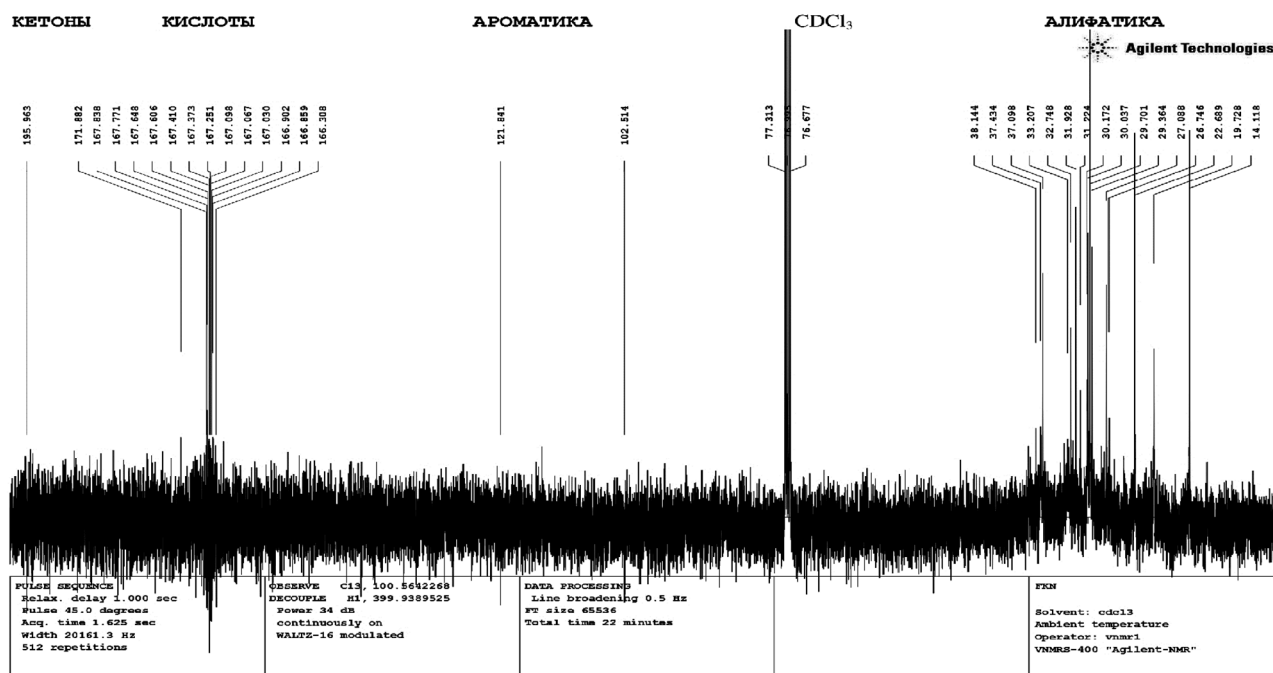


Рисунок 2 – Спектр ЯМР <sup>13</sup>C образца смазочной добавки «ФК-Н»

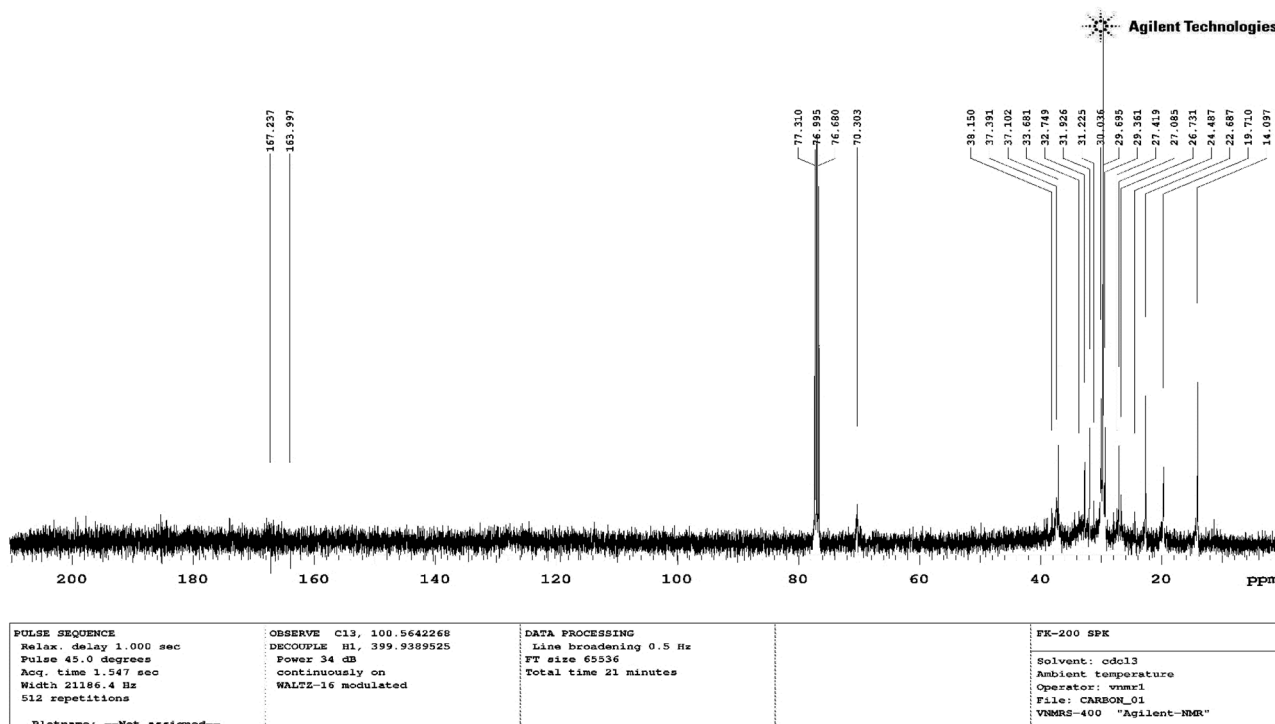


Рисунок 3 – Спектр ЯМР <sup>13</sup>C образца смазочной добавки «ФК-2000 Плюс»

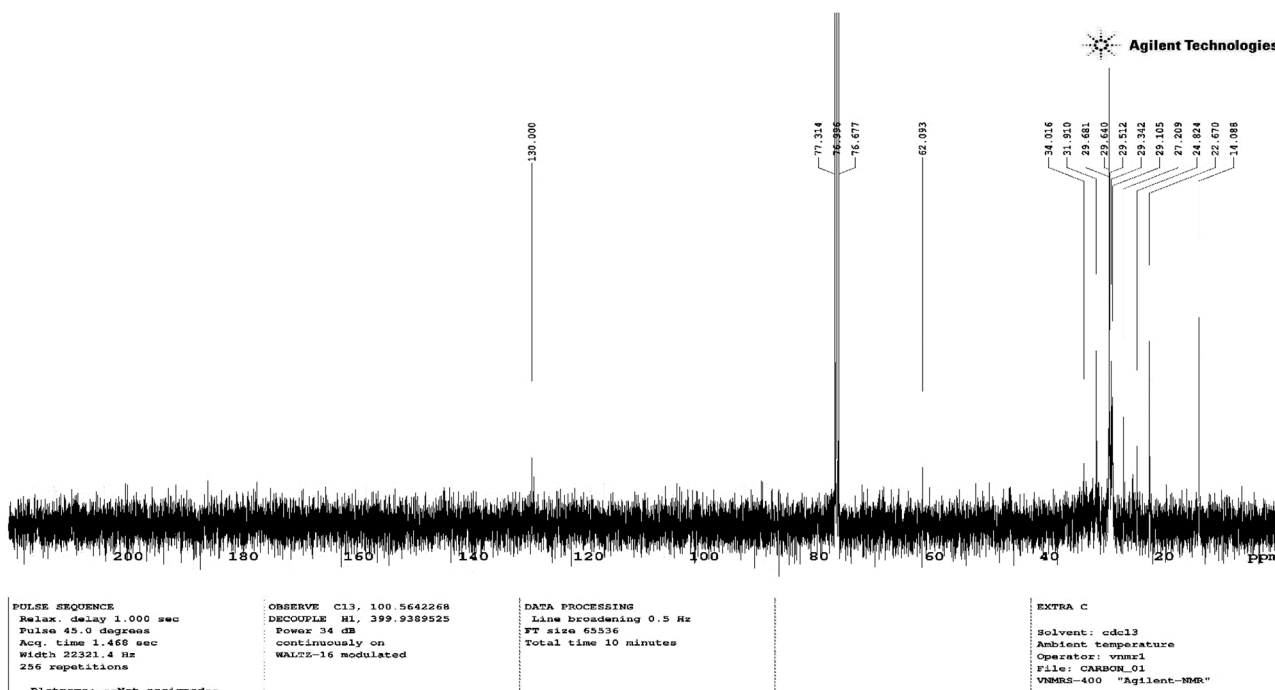


Рисунок 4 – Спектр ЯМР <sup>13</sup>C образца смазочной добавки «ЭКСТРА-С»

Все вышеуказанные смазочные добавки применяются для обработки буровых растворов на нефтегазовых промыслах при бурении скважин в Урало-Поволжье, на Северном Кавказе, на Сахалине, в Западной и Восточной Сибири, в экологически уязвимых районах Краснодарского и Ставропольского края, в Калининградской области и шельфе России.

На представленных спектрах ЯМР <sup>13</sup>C (рис. 2, 3, 4, 5) образцов смазочных добавок различной сырьевой природы (жирных кислот растительных масел, фосфолипидов, жиров животного и синтетического происхождения и продуктов нефтехими) наблюдается группа сигналов ЯМР <sup>13</sup>C в области химических сдвигов 14–39 м.д., которые принадлежат атомам углерода алифатических групп – алканам. Для всех рассмотренных смазочных добавок и нефти также общими являются ЯМР сигналы углерода <sup>13</sup>C в области химических сдвигов 110–120 м.д. атомов ароматических углеводородов.

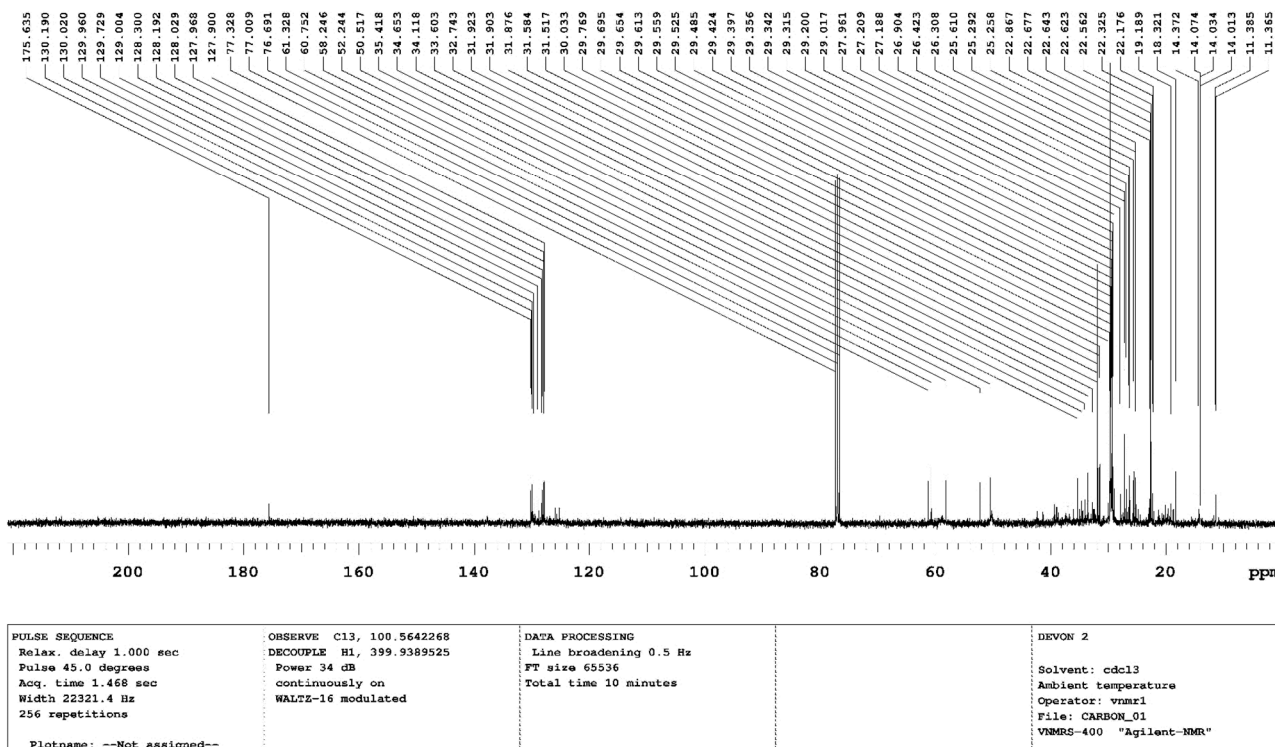


Рисунок 5 – Спектр ЯМР <sup>13</sup>C образца смазочной добавки «ДЕВОН-2»

Отличительной особенностью смазочных добавок серии «ФК» и «ФК-2000» в спектрах ЯМР <sup>13</sup>C являются сигналы карбонильных углеродов кислот в области химических сдвигов 163–167 м.д. и углеродных атомов <sup>13</sup>C кетонов в области химсдвигов 195–200 м.д. Для смазочной добавки «ДЕВОН-2» специфическим отличием спектров ЯМР <sup>13</sup>C является наличие группы сигналов с химсдвигом 127–130 м.д., которые относятся к третичным и метилзамещенным ароматическим атомам углерода. Общим по химсдвигу и одинаковым на всех спектрах является сигнал углерода <sup>13</sup>C растворителя CDCl<sub>3</sub> при химическом сдвиге 76–77 м.д. Отнесение сигналов атомов углерода спектров ЯМР <sup>13</sup>C на диапазоны по химическим сдвигам (ХС) составляющих структурных элементов химического строения молекул исследованных смазочных добавок для буровых растворов приведено в таблице 3.

Таблица 3 – Отнесение сигналов атомов углерода спектров ЯМР <sup>13</sup>C на диапазоны по химическим сдвигам (ХС) составляющих структурных элементов химического строения молекул исследованных смазочных добавок для буровых растворов

Диапазон химсдвигов <sup>13</sup> C, м.д.	Отнесение сигналов атомов углерода <sup>13</sup> C
14–39	Алифатические атомы углерода
62–70	Углерод окисэтильных групп
76–77	CDCl <sub>3</sub> растворитель
102–121	Ароматические атомы углерода
110–130	Ароматические третичные атомы углерода
163–171	Карбонильные углеродные атомы (кислоты)
195–200	Углеродные атомы кетонов

Для строительства разведочных и эксплуатационных нефтегазовых скважин в Западной и Восточной Сибири в ООО «НПО «Химбурнефть» разработана на основе растительного сырья и в течение более 20 лет успешно применяется высокоэффективная бифункциональная солестойкая смазочная добавка марки «ФК-2000 Плюс» для бурения транспортного ствола скважины в неустойчивых глинистых отложениях и первичного вскрытия продуктивных пластов. Важной отличительной особенностью бифункциональ-





ной смазочной добавки «ФК 2000 Плюс» является ее пригодность к применению в различных по минерализации системах РВО и технологических жидкостей (ТЖ) глушения скважин. Кроме того, смазочная добавка «ФК-2000 Плюс» проявляет высокие поверхностно-активные свойства (ПАВ), влияющие на сохранение коллекторских свойств разбуриваемых залежей за счет снижения межфазного натяжения фильтра бурового раствора на границе с углеводородами (см. рис. 6).



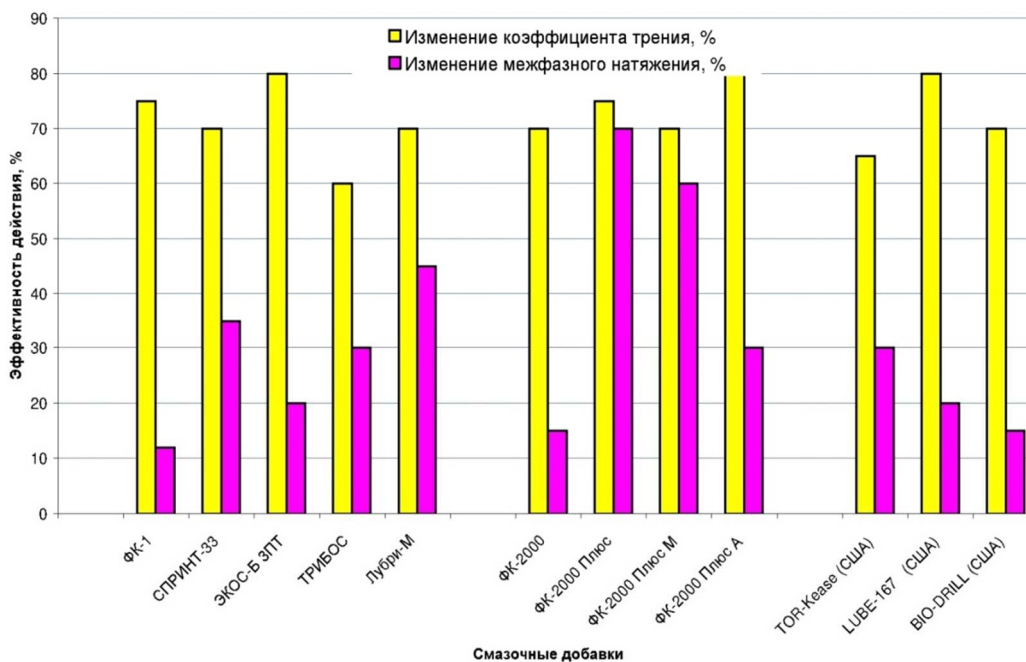
**Рисунок 6** – Изменение величины межфазного поверхностного натяжения от концентрации «ФК-2000 Плюс» на границе соленасыщенного NaCl водного раствора «ФК-2000 Плюс» – углеводород (керосин)»

Для применения в климатических условиях Сибири и Крайнего Севера с эксплуатационной точки применения важным является морозостойкость лубрикантов – пониженные температуры замерзания смазочной добавки и улучшенные противоприхватные свойства смазочной добавки. В связи с вышесказанным для решения этих проблем разработаны и выпускаются ООО «НПО «Химбурнефть» специальные модификации смазочных добавок марок: «ФК-Н», «ФК-М» и «ФК 2000 Плюс М» с температурами замерзаниями не ниже минус 25 °С [23, 24].

Промысловый опыт строительства наклонно-направленных и горизонтальных скважин с большими смещениями от вертикали (отходами) показывает, что наибольшую опасность представляют прихваты бурового инструмента. Для ликвидации прихватов применяется чаще всего установка жидкостных ванн на основе нефти или нефтепродуктов. В связи с этим актуальным направлением совершенствования ассортимента смазочных материалов для бурения является разработка экологически безопасных добавок с улучшенными антиприхватными и поверхностно-активными свойствами. Для Нефтеюганского региона Западной Сибири разработаны и внедрены экологичные антиприхватные смазочные добавки марок Лубри-М и ФК-2000 Плюс А для бурения, вскрытия продуктивных пластов и ликвидации прихватов. В отличие от применяемых в бурении за рубежом притивоприхватных смазочных добавок, типа AQUA-MAGIC, MIL-SPOT, FREE-PIPE (США), отечественные противоприхватные композиции обеспечивают снижение коэффициента дифференциального прихвата труб и могут применяться в качестве экологически безопасной основы для установки жидкостных ванн при ликвидации прихватов с последующим применением в качестве смазочной добавки для бурения [25–27]. Сравнительные характеристики современных смазочных свойств на границе пары «металл-металл» по стандарту АНИ при 1 % концентрации в воде и поверхностно-активных свойств по величине межфазного натяжения 0,5 % водного раствора смазочной добавки – углеводород разработанных в ООО «НПО «Химбурнефть» и зарубежных смазочных добавок представлены на рисунке 7.

Для бурения скважин Арланского месторождения Республики Башкортостан с целью повышения триботехнических свойств буровых растворов разработан и применен лубрикант комплексного действия БКР-5М хорошо совместимый с глинистыми и безглинистыми буровыми растворами, который улучшает смазочную способность на 29 %, снижает скорость абразивного изнашивания на 28 %, повышает показатели антикоррозионных свойств в 2,5 раза [28].

Сравнительную оценку эффективности смазочных добавок для РВО растворов можно проводить с применением различных методик в натуральном товарном виде, в водных растворах и дисперсиях, в глинистых буровых растворах, приготовленных с применением глинопорошков или глинистого



**Рисунок 7** – Сравнительная эффективность смазочного действия 1,0 % растворов отечественных и зарубежных смазочных добавок в дистиллированной воде и поверхностно-активных свойств 0,5 % водных растворов на границе с углеводородом

шлама. Чаще в рецептурах реальных буровых растворов с различной плотностью стабилизированных различными полимерными добавками с применением специальной машины трения пары «металл-металл», например, EP/Lubricity Tester (АНИ, США). Снижение коэффициента трения водных растворов смазочной добавки вычисляется по формуле:

$$\Delta K_{тр.} = \left( \frac{K_{тр.д.в} - K_{тр.и}}{K_{тр.д.в}} \right) \times 100, \%,$$

где  $K_{тр.д.в}$  – коэффициент трения дистиллированной воды (0,34–0,36 по АНИ),  $K_{тр.и}$  – коэффициент трения водных растворов смазочной добавки различной концентрации.

Снижение поверхностного натяжения 0,5 % раствора на межфазной границе с углеводородом ( $\Delta\sigma$ ) рассчитывали по формуле:

$$\Delta\sigma = \left( \frac{\sigma_{в} - \sigma_{i}}{\sigma_{в}} \right) \times 100, \%,$$

где  $\sigma_{в}$  – поверхностное натяжение воды на межфазной границе с керосином (углеводородом), мН/м;  $\sigma_{i}$  – поверхностное натяжение исследуемого раствора образца на межфазной границе с керосином, мН/м.

Для определения смазочных свойств (коэффициента трения) бурового раствора на границе «глинистая корка – металл» на буровых предприятиях РАО «ГАЗПРОМ» рекомендуется проводить испытание на приборах ФСК-4, ФСК-4Э. Прибор ФСК-4 предназначен для измерения фрикционных свойств фильтрационной корки малоглинистых, утяжелённых, минерализованных буровых растворов в полевых условиях. Конструкция прибора позволяет оперативно контролировать смазочные свойства бурового раствора, моделируя контакт бурильных (обсадных) колонн со стенкой наклонно-направленных скважин с диаметром от 140 до 350 мм.

Для определения коэффициента трения фильтрационной корки бурового раствора в условиях промышленных лабораторий и на буровых с целью выявления эффективности смазочных добавок и оперативного вмешательства в технологический процесс бурения в осложнённых условиях на месторождениях Республики Татарстан широко применяется прибор КТК-2. Измерение коэффициента трения (липкости) на границе «глинистая корка – металл» производится по углу начала скольжения стандартного груза по фильтрационной корке с последующим определением значения коэффициента в таблице прилагаемой к прибору КТК-2.

Антиприхватные (противоприхватные) свойства буровых растворов определяются на приборе Sticking Tester (OFI, США) по коэффициенту потенциального прихвата  $K_n$  на границе «глинистая кор-



ка – металл» при перепаде давления 3,34 МПа. Коэффициент потенциального прихвата  $K_n$  рассчитывается по формуле:

$$K_n = \frac{0,001 \times Q \times P}{477,5},$$

где  $Q$  – показания ключа-динамометра;  $P$  – используемое давление, фунт/дюйм<sup>2</sup>.

Снижение коэффициента потенциального прихвата  $\Delta K_n$  рассчитывается по формуле:

$$\Delta K_n = \frac{K_{n0} - K_{n1}}{K_{n0}} \times 100, \%,$$

где  $K_{n0}$  – коэффициент потенциального прихвата исходного бурового раствора;  $K_{n1}$  – коэффициент потенциального прихвата исследуемого бурового раствора [29, 30].

Таким образом, по химическому строению современные смазочные добавки характеризуются широким ассортиментом и как показывают спектры ЯМР углерода <sup>13</sup>C преобладанием алифатических радикалов (по аналогии с нефтью), наличием ароматических соединений и углеводородов карбоновых кислот.

Основная тенденция современного уровня производства и применения в РФ смазочных добавок – лубрикантов для буровых растворов – экологичность и полифункциональность действия в условиях полиминеральной агрессии и высоких температур.

Применение в РВО смазочных и антиприхватных добавок при бурении скважин гарантирует высокие технико-технологические, экономические и экологические показатели успешности строительства нефтегазовых скважин.

### Литература:

1. Байбаков Н.К., Гарушев А.Р., Антониади Д.Г. Кубань – колыбель нефтегазовой промышленности России. – Краснодар : Центр информ. и эконом. развития печати, телевидения и радио Краснодарского края, 1999. – 308 с.
2. Скобло А.И. Технический анализ топлив и минеральных масел. – М. : ГНТИ Нефтяной и Горно-топливной литературы, 1951. – 567 с.
3. Griffin W.C. Classification of Surface-Active Agents by «HLB» / J. Soc. Cosmet. Chem. – 1950. – № 1. – Р. 311.
4. Бабалян Г.А., Кравченко Н.Н., Маркасин И.А. Физико-химические основы применения поверхностно-активных веществ при разработке нефтепластов. – М. : Гостоптехиздат, 1962. – 176 с.
5. Shaw M.C. Grinding Fluids // Industrial Lubrication and Tribology. – 1970. – № 10. – Р. 283–284.
6. Синицын В.В. Подбор и применение пластичных смазок. – М. : Химия, 1974. – 416 с.
7. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение : Справочник / И.Г. Анисимов [и др.]; Под ред. В.М. Школьникова. – М. : Техинформ, 1999. – 596 с.
8. Манг Т., Дрезел У. (ред.) Смазочные материалы. Производство, применение, свойства. Справочник: пер. с англ. 2-го изд. / под ред. В.М. Школьникова. – СПб. : ЦОП «Профессия», 2012. – 944 с.
9. Булатов А.И., Пеньков А.И., Проселков Ю.М. Справочник по промывке скважин. – М. : Недра, 1984. – 317 с.
10. Чубик П.С. Квалиметрия буровых промывочных жидкостей. – Томск : НТЛ, 1999. – 300 с.
11. Справочник инженера-нефтяника / У.Р. Лайонз [и др.]. – Т. II. Инжиниринг бурения, 2014. – 1064 с.
12. Самотой А.К. Предупреждение и ликвидация прихватов труб при бурении скважин. – М. : Недра, 1979. – 182 с.
13. Поконова Ю.В. Нефть и нефтепродукты. – СПб. : АНО НПО «Мир и Семья», 2003. – 904 с.
14. Кистер Э.Г. Химическая обработка буровых растворов. – М. : Недра, 1972. – 392 с.
15. Агаев Ф.Т., Гараев М.М., Круткин Р.А. [и др.] // Газовая промышленность, 1982. – № 1. – С. 27–28.
16. Ковалева З.С. Бурение газовых и газоконденсатных скважин // Реф. сб. ВНИИЭгазпрома. – 1978. – № 1. – С. 13–17.
17. Самотой А.К. Некоторые особенности развития процесса прихвата бурильного инструмента в условиях действия высоких температур и давлений // Азербайджанское нефтяное хозяйство. – 1970. – № 3. – С. 22–24.
18. Федеральные нормы и правилами в области промышленной безопасности «Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности». Серия 08. Выпуск 19. 2-е изд. – М. : ЗАО «НТЦ ППБ», 2015. – 316 с.
19. Буровые растворы с улучшенными смазочными свойствами / А.Н. Яров [и др.]. – М. : Недра, 1975. – 143 с.
20. Бабалян Г.А., Дюсуше М.Ж., Сенцова Е.П. О применении поверхностно-активных веществ для увеличения скорости бурения // Нефтяное хозяйство. – 1967. – № 3. – С. 22–27.
21. World Oil. – 2000–2004. – № 6.
22. Мойса М.Ю., Мойса Н.Ю., Мойса Ю.Н. Смазочные материалы для буровых растворов // Нефтяной сервис. Спецвыпуск журнала «Нефть России». – 2010. – № 1 (7). – С. 42–45.
23. Мойса Ю.Н., Фролова Н.В., Бармотин К.С. Модификации смазочной добавки ФК 2000 Плюс для бурения боковых стволов и горизонтальных скважин в интервалах продуктивных пластов // Восстановление производительности нефтяных и газовых скважин. Сб. науч. тр. ОАО НПО «Бурение». – Вып. 10. – Краснодар, 2003. – С. 254–262.
24. Мойса Ю.Н. и др. Антиприхватная смазочная добавка для бурения на месторождениях НК «ЮКОС-ЭП» // Новые технологии, технические средства и материалы в области промывки при бурении и ремонте нефтяных и газовых скважин. Сб. науч. тр. ОАО НПО «Бурение». – Вып. 6. – Краснодар, 2001. – С. 152–161.
25. Мойса Ю.Н., Бармотин К.С. Разработка методики определения эффективности ванн при освобождении от дифференциального прихвата // Техника и технология заканчивания и ремонта скважин в условиях АНПД. Сб. науч. тр. ОАО НПО «Бурение». – Вып. 8. – Краснодар, 2002. – С. 184–192.



26. Бармотин К.С. Разработка смазочных добавок с повышенными антиприхватными свойствами для бурения и ликвидации прихватов при строительстве скважин : Автореф. дис. ... канд. техн. наук : 25.00.15 – Технология бурения и освоения скважин. – Краснодар, 2007. – С. 22.

27. Проскурин В.А., Камбулов Е.Ю., Ивахненко А.Е. Опыт применения безглинистого биополимерного бурового раствора «Грин-Дрилл» при бурении горизонтальных участков скважин на Юрские отложения месторождений Западной Сибири // Строительство и ремонт скважин – 2011. Сборник докладов Международной научно-практической конференции. Геленджик, Краснодарский край, 26 сентября – 01 октября 2011. – С. 42–44.

28. Яхин А.Р. Улучшение триботехнических свойств буровых промывочных жидкостей применением добавок комплексного действия : Автореф. дис. ... канд. техн. наук : 25.00.15 – Технология бурения и освоения скважин. – Уфа, 2015. – С. 23.

29. Практическое руководство по промывке и цементированию нефтяных и газовых скважин / А.И. Булатов [и др.]. – Краснодар : Просвещение-Юг, 2015. – 307 с.

30. ГОСТ Р 56946-2016 «Нефтяная и газовая промышленность. Материалы буровых растворов. Технические условия и испытания» модифицированному по отношению к международному стандарту ИСО 13500:2008.

## References:

1. Baibakov N.K., Garushev A.R., Antoniadis D.G. Kuban – the cradle of Russian oil and gas industry. – Krasnodar : Center for Information and Economic Development of Printing, Television and Radio of Krasnodar Region, 1999. – 308 p.
2. Skoblo A.I. Technical analysis of fuels and mineral oils. – M. : GNTI of Oil and Mining and Fuel Literature, 1951. – 567 p.
3. Griffin W.C. Classification of Surface-Active Agents by «HLB» / J. Soc. Cosmet. Chem. – 1950. – № 1. – P. 311.
4. Babalyan G.A., Kravchenko N.N., Markasin I.A. Physico-chemical bases of application of surface-active substances in oil reservoir development. – M. : Gostoptekhizdat, 1962. – 176 p.
5. Shaw M.C. Grinding Fluids // Industrial Lubrication and Tribology. – 1970. – № 10. – P. 283–284.
6. Sinitsyn V.V. Selection and application of greases. – M. : Chemistry, 1974. – 416 p.
7. Fuel, lubricants, technical fluids. Assortment and application: Reference book / I.G. Anisimov [et al.]; Under edition of V.M. Shkolnikova. – M. : Techninform, 1999. – 596 p.
8. Mang T., Dresel U. (ed.) Lubricants. Production, application, properties. Reference book: 2nd ed. per. / Under edition of V.M. Shkolnikov. – St. Petersburg : TSOP «Profession», 2012. – 944 p.
9. Bulatov A.I., Penkov A.I., Proselkov Yu.M. Reference book on well flushing. – M. : Nedra, 1984. – 317 p.
10. Chubik P.S. Qualimetry of the drilling flushing liquids. – Tomsk : NTL, 1999. – 300 p.
11. Reference book of the oil engineer / U.R. Lions [et al.]. – V. II. Drilling engineering, 2014. – 1064 p.
12. Samota A.K. Prevention and elimination of pipe clamping during well drilling. – M. : Nedra, 1979. – 182 p.
13. Pokonova Yu.V. Oil and oil products. – St. Petersburg : ANO NPO «Peace and Family», 2003. – 904 p.
14. Kister E.G. Chemical processing of the drilling fluids. – M. : Nedra, 1972. – 392 p.
15. Agayev F.T., Garayev M.M., Krutkin R.A. [et al.] // Gas industry, 1982. – № 1. – P. 27–28.
16. Kovaleva Z.S. Drilling of the gas and gas condensate wells // Ref. of VNIIEgazprom. – 1978. – № 1. – P. 13–17.
17. Samota A.K. Some peculiarities of development of the process of taking a drilling tool under conditions of high temperatures and pressures // Azerbaijan Oil Industry. – 1970. – № 3. – P. 22–24.
18. Federal norms and rules in the field of industrial safety «Safety rules in oil and gas industry». Series 08. Issue 19. 2nd edition. – M. : ZAO NTC PPB, 2015. – 316 p.
19. Drilling fluids with improved lubricating properties / A.N. Yarov [et al.]. – M. : Nedra, 1975. – 143 p.
20. Babalyan G.A., Dusushe M.Zh., Sentsova E.P. About the surface-active substances application for the drilling speed increase // Oil industry. – 1967. – № 3. – P. 22–27.
21. World Oil. – 2000–2004. – № 6.
22. Moisa M.Y., Moisa N.Y., Moisa Y.N. Lubricants for drilling fluids // Oil service. Special issue of the «Oil of Russia» magazine. – 2010. – № 1 (7). – P. 42–45.
23. Moisa Yu.N., Frolova N.V., Barmotin K.S. Lubricant additive modifications of FK 2000 Plus for sidetracking and horizontal wells drilling in the intervals of productive formations // Restoration of oil and gas wells productivity. Collection of scientific articles by OAO NPO «Burenie». – Issue 10. – Krasnodar, 2003. – P. 254–262.
24. Moisa Y.N. et al. Anti-seize lubricant additive for drilling at the fields of YUKOS-EP // New technologies, technical means and materials in the field of flushing during drilling and workover of oil and gas wells. Collection of scientific articles by OAO NPO Burenie. – Issue 6. – Krasnodar, 2001. – P. 152–161.
25. Moisa Yu.N., Barmotin K.S. Development of a method for the liquid bath efficiency determination at the release from the differential tacking // Technique and technology of the well completion and workover under the conditions of the ANPD. Collection of scientific articles by OAO NPO Drilling. – Issue 8. – Krasnodar, 2002. – P. 184–192.
26. Barmotin K.S. Lubricating additives development with the increased anti-seize properties for drilling and liquidation of the tackles during the well construction : Autoref. ... Candidate of Technical Sciences: 25.00.15 – Technology of drilling and development of wells. – Krasnodar, 2007. – P. 22.
27. Proskurin V.A., Kambulov E.Yu., Ivakhnenko A.E. Experience of the clay-free biopolymer drilling mud «Green-Drill» application at the horizontal well sections drilling on the Yursk deposits of the Western Siberia deposits (in Russian) // Well construction and repair – 2011. Collection of reports of the International Scientific and Practical Conference. Gelendzhik, Krasnodar Region, September 26 – October 01, 2011. – P. 42–44.
28. Yakhin A.R. Improvement of the tribotechanical properties of the drilling flushing liquids by application of additives of complex action: Author's note. ... Candidate of Technical Sciences : 25.00.15 – Well drilling and development technology. – Ufa, 2015. – С. 23.
29. Practical guidance on the flushing and cementing of the oil and gas wells / A.I. Bulatov [et al.]. – Krasnodar : Enlightenment-South, 2015. – 307 с.
30. GOST R 56946-2016 «Oil and Gas Industry. Materials of drilling fluids. Specifications and tests» modified in relation to the international standard ISO 13500:2008.