УДК 622.24.053.6: 621.89

АНАЛИЗ И РАЗРАБОТКА РЕЗЬБОВЫХ СМАЗОК ДЛЯ БУРИЛЬНЫХ ТРУБ

–––––––

ANALYSIS AND DEVELOPMENT OF THREAD LUBRICANT FOR DRILL PIPES

Ягудин Марат Азатович
магистрант,
Уфимский государственный
нефтяной технический университет
marat256@inbox.ru

Фатхутдинов Тагир Занфирович
магистрант,
Уфимский государственный
нефтяной технический университет
tag00004@yandex.ru

Галикеев Денислам Рафисович
студент,
Уфимский государственный
нефтяной технический университет
galikeev.denislam@yandex.ru

Аннотация. В данной статье представлена работа по разработке резьбовых смазок для бурильных труб. Целью работы было получение смазочного агента, повышающего работоспособность и долговечность резьбовых соединений бурильных труб. Были рассмотрены основные требования к работе бурильной колонны в процессе строительства скважины. Рассмотрена возможность использования высокодисперсных порошков переходных металлов как добавку к резьбовой смазке, улучшающей ее эксплуатационные характеристики. Методом электролиза был получен медный порошок, который далее был исследован на фазовый и количественный состав. Разработана композиция резьбовой смазки с применением медного нанопорошка, далее исследуемая на рабочие характеристики. Исследования резьбовой смазки проходили на четырехшариковой машине трения (ЧШМ) и на гидропрессе, измеряющем герметизирующие свойства смазочных агентов. По результатам экспериментальных исследований можно сделать заключение о том, что использование медного порошка положительно влияет на рабочие характеристики смазочных агентов, повышает долговечность и герметичность резьбовых соединений, тем самым увеличивая срок работы всей колонны бурильных труб.

Ключевые слова: колонна бурильных труб, резьбовые соединения, резьбовая смазка, медный порошок, фазовый состав, композиция смазки, четырехшариковая машина трения, гидропресс.

Yagudin Marat Azatovich
Undergraduate,
Ufa state oil technical university
marat256@inbox.ru

Fatkhutdinov Tagir Zanfirovich
Undergraduate,
Ufa state oil technical university
tag00004@yandex.ru

Galikeev Denislam Rafisovich
Student,
Ufa state oil technical university
galikeev.denislam@yandex.ru

Annotation. The paper presents on research work of development of thread lubricant for drill pipes. The aim of work was a creation of the lubricant that increases durability of drill pipe threads. We were consider basic requirements for drill pipe assembly during oil and gas well building and application of transition metal powders as additive for a thread lubricant that improving work properties. By electrolysis method was synthesized a copper powder, which was further explored on the phase and quantitive composition. Was developed a using a powder composition of thread lubricant, which explored for work properties. The researches have passed on friction machine and hydraulic press, which measure sealing properties. By results of experiments, we can conclude that application of high dispersal copper powder have positive effects on thread's work properties. The additive increases durability and impermeability of drill threads, thereby, increasing the working life of drill pipe assembly.

Keywords: drill pipe assembly, thread, thread lubricant, copper powder, phase composition, lubricant composition, friction machine, hydraulic press.

Анализ долговечности резьбовых соединений бурильных труб и пути их совершенствования

Характерные особенности эксплуатации резьбовых соединений бурильных труб

Бурильная колонна предназначена для подвода энергии (механической, гидравлической, электрической) к долоту, обеспечения подачи промывочной жидкости к забою, создания осевой нагрузки на долото, восприятия реактивного момента забойного двигателя и для выполнения ряда других важных функций. В общем случае колонну можно представить как механико-гидравлическую систему из ряда последовательно соединенных труб. В качестве соединительных элементов бурильных труб используются бурильные замки, муфты и переводники, на которых выполняется коническая замковая резьба.

Критическая нагрузка – это максимальная осевая нагрузка, которой может подвергаться винт, не нарушая стабильности системы; в том случае, если действующая на винт максимальная осевая нагрузка

достигнет или превысит значение критической нагрузки, создается новая форма воздействия на винт, которое называется «пиковая нагрузка», вызывающая дополнительный прогиб помимо простого сжатия.

Индекс задира измеряет способность масла снижать повреждение трущихся деталей под нагрузкой из-за задира.

Нагрузка сваривания (Рс) – определяется как наименьшая нагрузка, по достижении которой происходит заедание механизма и схватывание пар трения.

Основные виды изнашивания резьбовых соединений

В замковом резьбовом соединении элементов бурильной колонны в результате воздействия широкого спектра нагрузок возникают различные виды изнашивания, в процессе которого возможны следующие явления: скачкообразное движение, схватывание, перенос материала, заедание, задир, царапание, отслаивание, выкрашивание и приработка. В процессе изнашивания образуются единичные разрушения в малом объеме материала, который удаляется из зоны трения в виде частиц износа.

В процессе трения и изнашивания одновременно наблюдаются несколько видов изнашивания, однако в большинстве случаев проявляется основной вид изнашивания, ответственный за характер и размер (величину) износа.

Применительно к условиям работы замков бурильных труб могут иметь место следующие виды изнашивания в соответствии с ГОСТ 27674-88:

- абразивное изнашивание – механическое изнашивание в основном в результате режущего или царапающего действия твердых частиц, сопровождаемое химическим и (или) электрическим взаимодействием материала со средой;
- гидроабразивное изнашивание – абразивное изнашивание в результате действия твердых частиц, взвешенных в жидкости и перемещающихся относительно изнашивающегося тела. Один из видов гидроабразивного изнашивания – промыв резьбовых соединений. Чаще он наблюдается при турбинном бурении с использованием утяжеленных растворов;
- эрозионное изнашивание – механическое изнашивание в результате действия циркулирующего потока бурового раствора и (или) газа;
- усталостное изнашивание – механическое изнашивание в результате усталостного разрушения при циклическом деформировании микрообъемов материала поверхностного слоя. Наиболее характерно для замковых резьб участка колонн УБТ и комплекта бурильных труб, установленных над УБТ;
- окислительное изнашивание – коррозионно-механическое изнашивание, при котором основное влияние на изнашивание имеет химическая реакция металла с кислородом или окисляющей окружающей средой;
- изнашивание при заедании – изнашивание в результате схватывания, глубинного вырывания металла, переноса его с одной поверхности трения на другую и воздействия возникших неровностей на сопряженную поверхность.

Существующие методы повышения надежности резьбовых соединений бурильных труб и пути их совершенствования

Необходимость повышения работоспособности резьбовых соединений требует выбора способа упрочнения, обеспечивающего одновременно сопротивление коррозионно-усталостному разрушению и износу при многократном свинчивании-развинчивании. Известны три основных способа повышения долговечности резьбовых соединений элементов бурильных колонн: конструктивный, технологический и эксплуатационный.

К конструктивным способам упрочнения относятся способы повышения эксплуатационного ресурса замковых резьбовых соединений за счет изменения их конструкции.

Примером конструктивного способа повышения выносливости замковых резьбовых соединений может служить введение зарезьбовых канавок в ниппеле или муфте. При этом на испытаниях в воздухе прирост предела усталости данных образцов с зарезьбовыми канавками составил, по данным, в среднем 30–50 %.

Работоспособность резьбовых соединений элементов бурильной колонны, как указывалось выше, в большей мере зависит от качественных характеристик применяемых смазочных материалов. Одним из перспективных методов повышения работоспособности замковых резьб является применение антифрикционных герметизирующих составов. Широкое применение нашли резьбовые смазки, которые в качестве основных наполнителей содержат порошки свинца, цинка, меди и графита. Предварительные стендовые испытания выявили положительное влияние смазки Р-113 на износостойкость резьбовых соединений по сравнению с графитовой смазкой УСсА. Износостойкость замковых резьб за счет применения смазки Р-113 увеличилась на 45–50 %, что также было подтверждено последующими промысловыми испытаниями.

Положительное влияние смазок Р-416 на ресурс резьбовых соединений так называемой беззамковой конструкции (ЛБТ) из сплава Д16Т отмечено в работе. С целью суммарного учета многообразных факторов, влияющих на износостойкость резьбового соединения в процессе СПО, испытания на свинчивание-развинчивание проводились непосредственно на буровой. Число свинчиваний-развинчиваний ЛБТ до первого ремонта при применении смазок Р-416 составляет 350 циклов по сравнению с 195 циклами при применении ранее разработанной графитовой смазки УСсА. Применение при свинчивании-развинчивании замковых соединений элементов бурильных труб резьбовых смазок типа Р-402, Р-113,

Р-416, Резьбол-ОМ и других является при условии их совершенствования перспективным направлением повышения эксплуатационного ресурса и обеспечения герметичности. При этом затраты на их приобретение и использование несоизмеримо малы по сравнению с другими методами повышения износостойкости резьбовых соединений при одинаковом увеличении срока службы замковых соединений.

Из вышеизложенного следует, что наиболее изучены и получили широкое применение в нефтяной и газовой промышленности конструктивные методы упрочнения замковых резьбовых соединений. Однако в целом замковые соединения имеют еще очень низкую долговечность, что указывает на необходимость совершенствования существующих и разработки новых технологических и эксплуатационных методов упрочнения и обеспечения герметичности.

Смазочные материалы для резьбовых соединений бурильных труб

Основное назначение пластичных уплотнительных смазок – уменьшение износа поверхностей трения для продления срока службы деталей машин и механизмов. Кроме этого, они выполняют другие функции. В отдельных случаях смазки не столько уменьшают износ, сколько упорядочивают его, предотвращая задир, заедание и заклинивание поверхностей трения. Поскольку предметом нашего исследования являются смазки для резьбовых соединений бурильных труб, то рассматривать другие группы мы не будем.

Длительное время при свинчивании резьбовых соединений труб нефтяного сортамента, деталей бурильных и обсадных колонн применяли графитную смазку УСсА (ГОСТ 3333-80), состоящую из 65 % солидола и 35 % серебристого графита. По составу смазка УСсА близка к синтетическим солидолам, но она приготовлена на более вязком масле. Графит в смазке УСсА выполняет роль антифрикционного материала. Несмотря на плохие низкотемпературные свойства, графитная смазка за счет свойств графита имеет высокую стойкость и неизменяемость при высоких температурах (от 200–2000 ºС). Графит образует тонкую пленку на поверхности сопряженных тел, механически неотделимую от металла резьбы. При этом износ резьбы ничтожно мал. Рассмотрим наиболее применяемые пластичные смазки для резьбовых соединений бурильных труб.

Резьбовая смазка Р-416 (ТУ 38.101708-78) представляет собой композицию литиево-цинкового мыла стеариновой кислоты и веретенного масла АУ. В смазку введены такие добавки как порошок свинца, окись свинца, сернистый свинец, присадка триэтиленгликоль и монтан-воск, которые улучшают ее противоизносные и герметизирующие свойства. Она по назначению аналогична смазке Р-113, т.е. для предотвращения задира, облегчения свинчивания и развинчивания соединений.

Общим недостатком вышерассмотренных смазок, как показывают промысловые и экспериментальные лабораторные исследования, является их низкая морозостойкость. Смазки густеют уже при температуре минус 10 ºС, особенно смазка Р-416. При разбавлении дизельным топливом и дальнейшем разогревании смазок необходимо не допускать расплавления их, так как при этом в них начинаются необратимые изменения, ведущие к осаждению тяжелых добавок.

Методы исследования эксплуатационных свойств смазок резьбовых соединений бурильных труб

Выбор методов экспериментального изучения триботехнических свойств смазок резьбовых соединений бурильных труб

Противозадирные и противоизносные свойства масел и смазок определяют на четырехшариковых машинах трения различных конструкций с большими скоростями скольжения. Испытания на четырехшариковой машине трения обычно проводят в режиме преобладающего трения скольжения, но возможен и режим преобладающего трения качения с той или иной величиной скольжения.

Рабочими элементами машины ЧШМ, представленной на рисунке 1, являются четыре закаленных шарика диаметром 7,94 мм. Три нижних шарика 1 закреплены неподвижно в обойме 2, заполненной испытываемой смазкой, а зажатый в шпинделе верхний шарик 3 скользит по их поверхности.

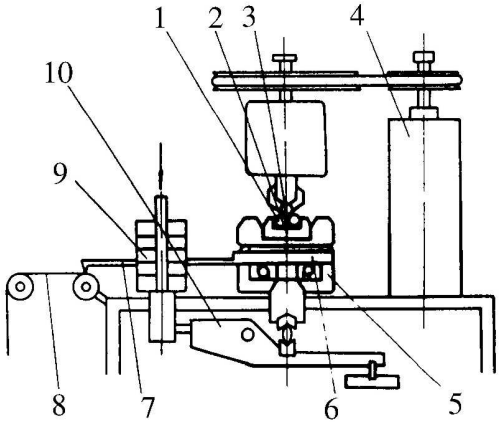

Рисунок 1 – Схема четырехшариковой машины трения:
1 – три нижних шарика; 2 – обойма; 3 – верхний шарик; 4 – электромотор шпинделя; 5 – стакан; 6 – пружина динамометра; 7 – стрелка самописца; 8 – лента; 9 – грузы; 10 – рычаг

При испытаниях с помощью амперметра, подключенного к электродвигателю, определяется сила тока в обмотке электродвигателя, являющейся пропорциональной силе трения в месте контакта обоймы и образца. С помощью термопары и термометра многоканального ТМ 5233 фиксируется температура в смазочной ванне.

Методика изучения герметизирующей способности смазок

В условиях эксплуатации резьбовых соединений бурильных труб нарушение герметичности происходит вследствие нагружения избыточным давлением промывочной жидкости и изгибающего момента в бурильных трубах в наклонно-направленных скважинах.

Герметизирующие свойства пластичных смазок исследовали на стенде, разработанном на кафедре бурения нефтяных и газовых скважин УГНТУ. Экспериментальная лабораторная установка приведена на рисунке 2. Она позволяет определить давление, при котором происходит потеря герметичности резьбового соединения, как те или иные смазки герметизируют замковое соединение.

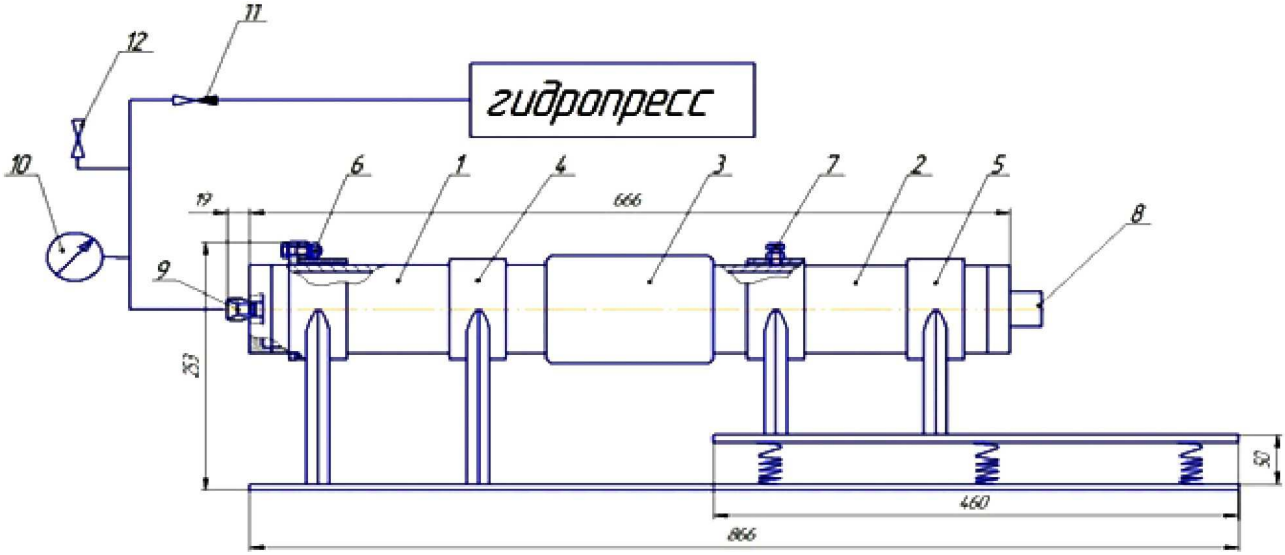

Рисунок 2 – Схема установки гидропресса:
1 – неподвижная труба; 2 – подвижная труба; 3 – муфта; 4 – крепеж 1; 5 – крепеж 2; 6 – болт крепежный; 7 – болт фиксирующий; 8 – четырехгранник; 9 – штуцер; 10 – манометр; 11 – обратный клапан; 12 – краник

Вначале исследовали герметизирующие свойства таких пластичных смазок как солидол, литол, графитная смазка.

В таблице 1 приведены величины давлений, при которых происходит разгерметизация резьбовых соединений.

Одним из основных механизмов защитного действия смазочных материалов является образование на поверхности трения прочно связанных с металлом граничных смазочных слоев, приводящих к снижению сил трения и износа. Независимо от назначения практически все смазочные материалы обладают способностью образовывать адсорбционные слои на поверхности металла. Поэтому при разработке новых смазочных композиций необходимы методы исследований, позволяющие определять несущую способность граничных смазочных слоев. Рассмотрим основные методы, нашедшие применение в экспериментальных исследованиях тонких слоев жидкости на твердых поверхностях.

Механические методы составляют наиболее обширную группу методов исследования граничных слоев жидкости, так как их механические свойства непосредственно связаны со строением аномальных слоев и действующими на них молекулярными силами.

Статические методы исследования позволяют оценить такие важные параметры граничных слоев, как прочность, упругость, толщина. Исследования свойств граничных слоев этими методами сопряжены с изменениями структуры, а, следовательно, и свойств изучаемых образцов вследствие больших механических напряжений, возникающих в граничных слоях.

На кафедре бурения нефтяных и газовых скважин УГНТУ нами была предложена принципиальная схема для реализации метода «стопы» с целью экспериментального определения толщины смазочного слоя и изготовлено соответствующее устройство (рис. 3).

Применение цикловольтамперометрического метода снятия поляризационных кривых применяется для фиксирования образования и растворения защитных пленок на поверхности корродирующего металла.

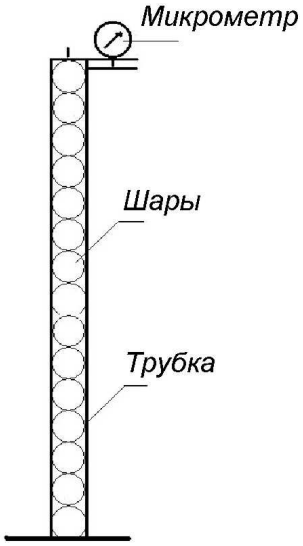

Рисунок 3 – Устройство по измерению толщины адсорбционного слоя

В таблице 1 приведены толщины смазочных слоев пластичных смазок литол, солидол, графитовые смазки на основе литола и солидола. Из таблицы 1 видно, что смазка литол имеет более высокую толщину граничной пленки. С добавлением порошка графита толщина смазочной пленки увеличивается.

Таблица 1 – Параметры некоторых пластичных смазок

№	Смазка	В, мкм	Давление, атм.
1	Литол	29	25
2	Солидол	17	54
3	Графитовая смазка	18	60
4	Литол + графитный порошок	34	35
5	№ 4 + медный порошок 1 %	35	40
6	№ 4 + медный порошок 2 %	37	55
7	№ 4 + медный порошок 5 %	40	60

На основе проведенных исследований можно сделать вывод, что основой резьбовой смазки (по толщине смазочного слоя и герметизирующим свойствам) можно использовать литол с добавкой графитового порошка, медного порошка.

Для увеличения герметизирующей способности смазки ввели реагенты Буретан (г. Владимир), ПВА водопоглощающий (г. Саратов). Нами разработана смазка, условно названная РСГ-2.

В таблице 2 приведены результаты опрессовки смазки РСБ-1. Из таблицы 2 видно, что введение в смазку РСБ-1 расширяющий реагент позволяет загерметизировать «просаженное резьбовое соединение».

Смазку можно рекомендовать использовать в промысловых условиях.

Таблица 2 – Результаты опрессовки резьбовых смазок

Смазка	Давление опрессовки, МПа / Потеря давления за 30 мин.	
	1-е испытание	2-е испытание
Р-416	20/40	10/0
РСБ-1	32/0	32/0
Без смазки	–	–

Результаты исследований при разработке смазок для резьбовых соединений для бурильных труб

Для разработки и анализа состава резьбовой смазки были проведены исследования медного нанопорошка, полученного путем электрохимического осаждения. Проводился рентгенофазный анализ на дифрактометре Bruker D2 Phaser.

D2 Phaser предназначен для решения большинства задач порошковой рентгенографии: качественного и количественного фазового анализа, определения параметров элементарной ячейки, решения кристаллических структур по порошковым данным, определения размеров кристаллитов, степени кристалличности, напряжений.

Данный анализ позволил определить качественный состав исследуемого образца. Результаты анализа представлены на рисунке 4.

Согласно данным исследованиям было установлено, что в состав полученного порошка входят:

- медь (Cu);
- оксид меди (II) (CuO);
- куприт (Cu_2O);
- прочие окислы меди.

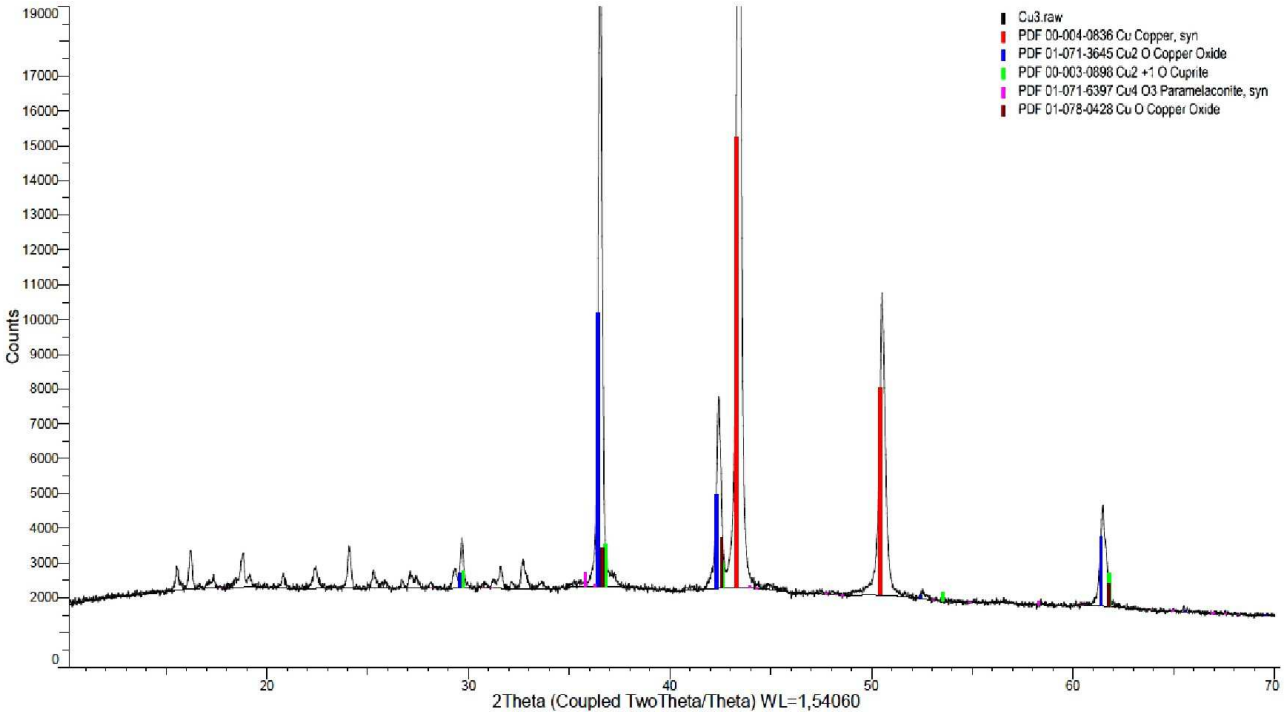

Рисунок 4 – Результаты рентгенофазного анализа

Также был проведен структурно-спектрографический анализ на растровом электронном микроскопе Jeol JSM-6610 LV 5.

На данном оборудовании были произведены электронные снимки образца нанопорошка, был проведен спектрографический анализ фрагмента образца для определения количественного элементного состава. Результаты исследований представлены на рисунках 5 и 6.

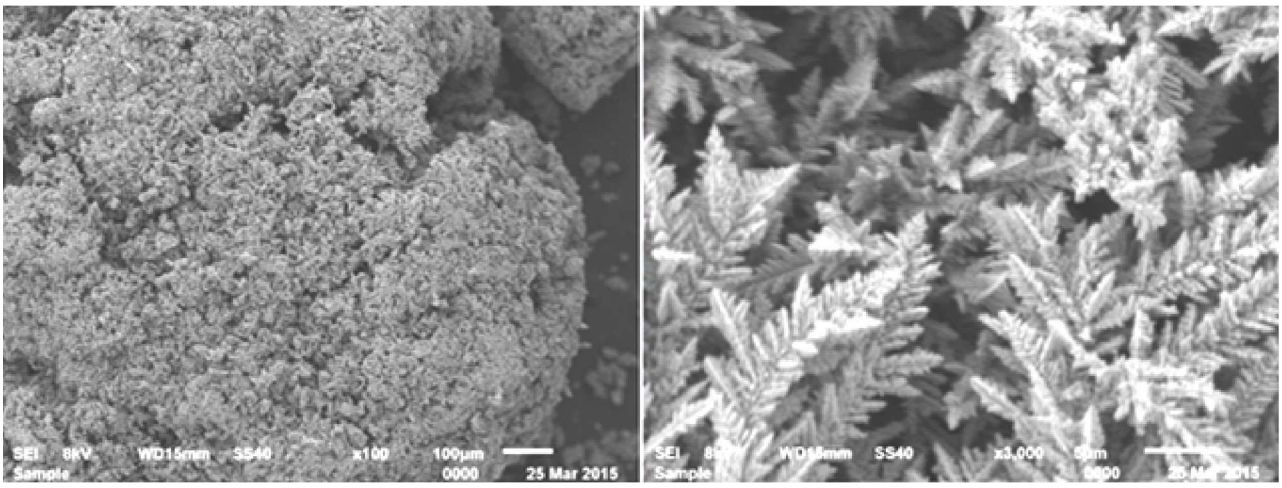

Рисунок 5 – Электронные снимки образцов медного порошка

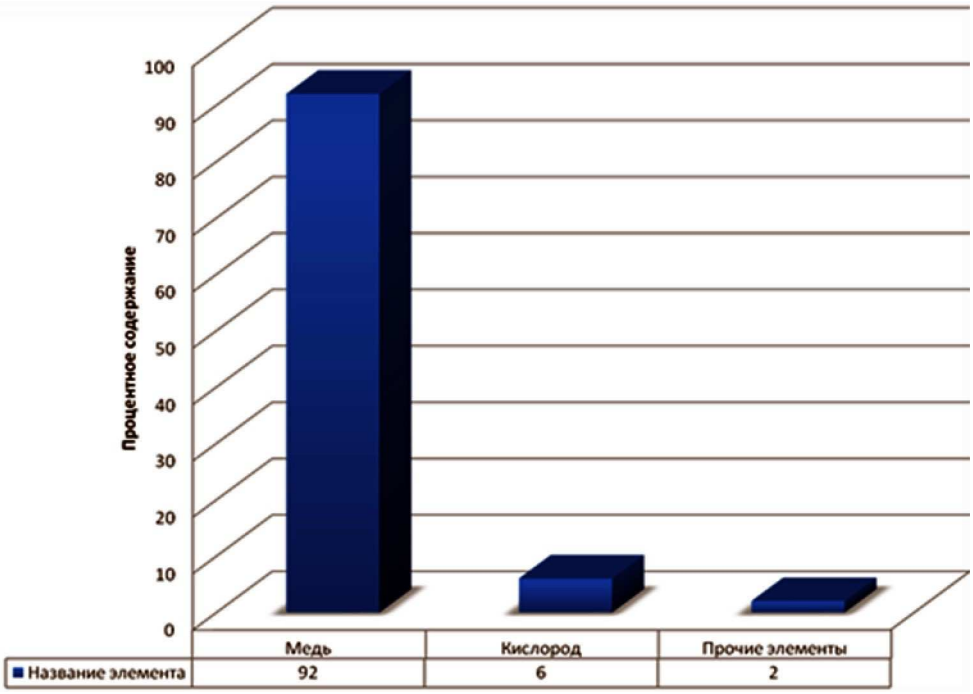

Рисунок 6 – Результат спектрографического анализа

По результатам исследований была определена структура образца и его качественный состав: образец на 92 % состоит из меди, на 6 % состоит из воды, что говорит о том, что исследуемый нами образец на 90 % состоит из чистой меди, приблизительно на 9 % – из медных окислов.

Данные исследования показали высокое качество полученного образца медного нанопорошка. Была разработана композиция резьбовой смазки для последующего исследования на эксплуатационные свойства. Полученная смазка исследована на четырехшариковой машине трения. Результаты исследований представлены в таблице 3. Для сравнения была представлена резьбовая смазка Р-416.

Таблица 3 – Результаты исследования на машине трения

Тип смазки	РСБ-1	Р-416
Критическая нагрузка, Н	2210	1100
Нагрузка сваривания, Н	9900	2800
Индекс задира	1640	519
Показания износа, мм	2,4	2,0

По результатам стендовых испытаний видно, что смазка РСБ-1 обладает более высокими триботехническими параметрами.

Коэффициент сопротивления сдвигу характеризует смазку РСБ-1 как смазку с высокими адгезионно-когезионными свойствами, обеспечивающую герметичность резьбового соединения и защищающую его поверхность от воздействия коррозионно-активной среды.

Заключение

Резьбовая смазка РСБ-1 для бурильных труб показала себя как смазка с превосходящими по сравнению с аналогами характеристиками при его применении. Медный нанопорошок, получаемый в результате электрохимического осаждения, показал себя как улучшающая добавка к резьбовой смазке, улучшив его эксплуатационные характеристики.

Литература:

1. Тесакова М.В. Электрохимическое осаждение, физико-химические свойства и практическое применение ультрадисперсных порошков меди и ее оксидов. – 2008. – 173 с.
2. Янгиров Ф.Н. Улучшение показателей бурения применением новой смазки в резьбовых соединениях бурильного инструмента. – 1999. – 165 с.
3. Акпанбаев Р.С. Исследование процесса электролитического получения мелкодисперсного медного порошка в присутствии модифицирующих органических соединений. – 2010. – 115 с.

References:

1. Tesakova M.V. Electrochemical sedimentation, physical and chemical properties and practical use of ultradisperse powders of copper and its oxides. – 2008. – 173 p.
2. Yangirov F.N. Improvement of indicators of drilling by use of new lubricant in threaded connections of the boring tool. – 1999. – 165 p.
3. Akpanbayev R.S. A research of process of electrolytic receiving fine copper powder in the presence of the modifying organic compounds. – 2010. – 115 p.