

Моделирование магнитного поля для обоснования разработки специальных муфт, предотвращающих отложения АСПВ в НКТ

DOI: 10.24411/2076-6785-2019-10060

А.А. Исаев

к.т.н., ведущий инженер отдела инноваций и экспертизы

isaeff-oil@yandex.ru

Р.Ш. Тахаутдинов

генеральный директор

В.И. Малыхин

главный специалист по инновационной деятельности

А.А. Шарифуллин

к.т.н., начальник отдела инноваций и экспертизы

ООО УК «Шешмаойл», Альметьевск, Россия

В связи с переходом большинства месторождений в позднюю стадию разработки все больше возникают проблемы при эксплуатации скважины, в частности с образованием асфальтосмолопарафиновых отложений (АСПО). Известные различные решения по предотвращению отложений асфальтосмолопарафиновых веществ в глубинно-насосном оборудовании (ГНО) не позволяют полностью решить проблему, поэтому задача по удалению АСПО является актуальной. Проблема с формированием АСПО в ООО УК «Шешмаойл» существует на Уратьминском месторождении, число преждевременных ремонтов достигало 80%.

Материалы и методы

В первой модели трубы расположены встык друг к другу, без зазора. В следующих моделях трубы расположены на расстояниях 1, 2 и 5 метров соответственно. С увеличением зазора магнитная индукция возрастает с 120 нТл до 290 нТл.

Ключевые слова

асфальтосмолопарафиновые отложения, преждевременные ремонты, ферромагнитные свойства, магнитное поле, магнитометр

При добыче парафинистой нефти, вследствие определенных термодинамических условий с выделением из нефти кристаллов парафина, происходит парафинизация скважины, призабойной зоны скважины, поровых каналов пласта, а также скважинного и наземного оборудования, поэтому следует особое внимание уделить технике и технологии борьбы с асфальтосмолопарафиновыми отложениями (далее — АСПО), а также правильной эксплуатации скважин с наличием АСПО. Накопление АСПО приводит к снижению производительности скважинных установок, уменьшению наработки и эффективности работы насосных установок [1].

При ревизии глубинно-насосного оборудования (ГНО) после его подъема выявлено, что АСПО в насосно-компрессорных трубах (далее — НКТ) и на штангах фиксируется во всем интервале от устья до приема насоса. На скважинах, оборудованных штанговыми установками, определить профиль отложения АСПО достаточно сложно, т.к. при подъеме штанг со скребками и муфтами происходит «размазывание» АСПО по всей поверхности НКТ. В интервале от 0 до 400 м толщина АСПО наибольшая, в основном толщина АСПО внутри НКТ составляет 5 мм.

Интенсивность отложения парафина на внутренней поверхности подъемных труб в значительной степени зависит от количества выделяющегося газа и состава нефти, оказывающей влияние на размер образующихся пузырьков [2], а также от температуры. В процессе движения жидкости по НКТ выделяется газ. При выделении газа уменьшается растворяющая способность нефти по отношению к парафину.

В манифольдах и выкидных линиях отложение парафина не менее интенсивно, чем в подземном оборудовании, т.к. огромное

влияние оказывает температура окружающей среды, особенно в зимний период. Выпадение осадков парафина за счет силы тяжести в трубопроводах происходит вследствие геометрии трубопровода. В емкостях парафин также откладывается за счет разности удельных весов парафина и нефти.

При эксплуатации скважин в ООО УК «Шешмаойл» проблема формирования АСПО, в основном, существует на скважинах Уратьминского месторождения ЦДНГ-2 АО «Геология». К осложненному фонду АО «Геология», связанному с наличием АСПО в скважине, отнесены 13 скважин.

За 2009–2017 гг. количество подземных ремонтов скважин (далее — ПРС) по Уратьминскому месторождению увеличилось с 55 до 69 ремонтов (рис. 1), при этом число преждевременных ремонтов (далее — ПВР) снизилось с 80% (44 ремонта) до 17% (12 ремонтов). Число часторемонтируемого фонда (далее — ЧРФ) также снизилось с 29% до 9%. Это говорит о более правильной эксплуатации скважин с осложнениями, а также здесь необходимо добавить, что скважины, ранее входившие в состав осложненного фонда с АСПО постепенно обводняются, т.е. отложения АСПО откладываются теперь меньше. Удельная частота ПРС снизилась с 0,72 до 0,5.

На рис. 2 видно, что ПРС, связанные с прочими ремонтами (реанимации, промывки и другие работы без подъема ГНО), увеличились с 3 до 39 ремонтов (с 5,5% до 56,5%), а количество ПРС с отказами ГНО и наличием отложений снизилось с 92% до 29%.

Действующий фонд с 2009 года по Уратьминскому месторождению увеличился с 76 скважин до 120 скважин, при этом девонский фонд снизился с 35 скважин (46,1%) до 27 скважин (22,5%). Снижение ПРС с отложениями, в т.ч. с АСПО показано на рис. 3, число ПРС с

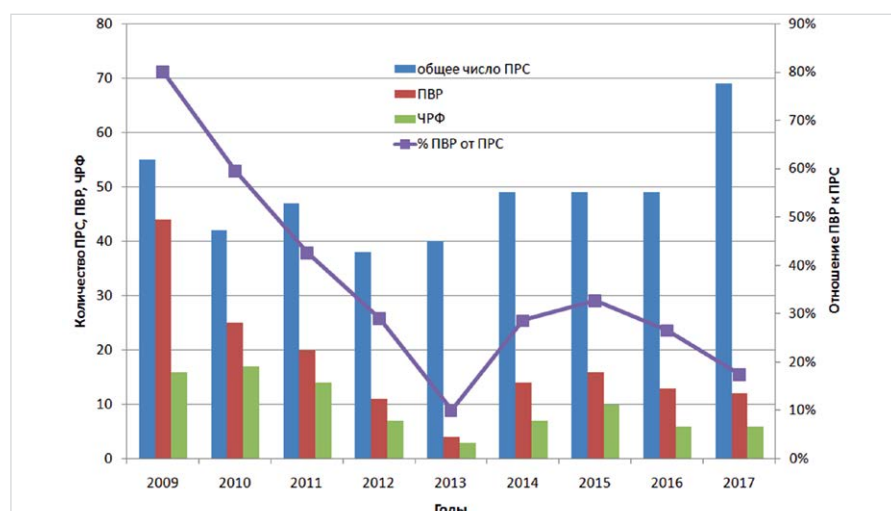


Рис. 1 — Динамика изменения ПРС, ПВР и ЧРФ по годам
Fig. 1 — Change history for well interventions (WI), premature repairs (PR) and frequently repaired stock (FRS) by years

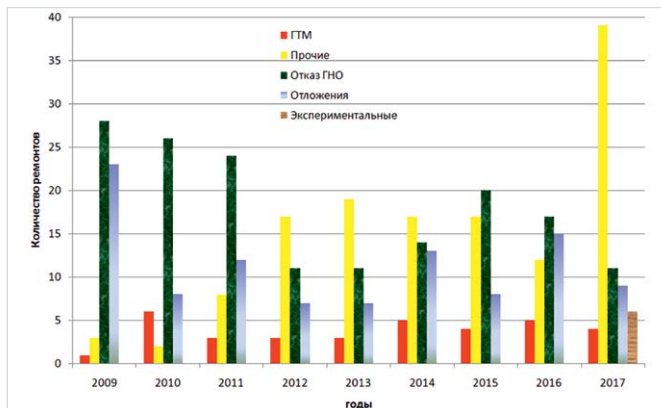


Рис. 2 — Динамика распределения ПРС по видам ремонтов
Fig. 2 — WI distribution history according to the type of repair works

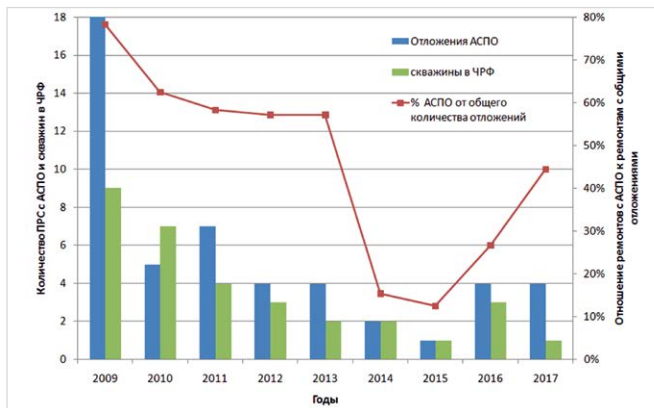


Рис. 3 — Динамика изменения ПРС на осложненном фонде с наличием АСПО

Fig. 3 — WI change history applied to the stock of complicated wells with ARPD

АСПО от общего количества ПРС с отложениями снизилось с 78% до 44%.

Выбор направления исследования предотвращения АСПО в НКТ

Анализ литературных источников [3-8] показывает, что исследование процесса предотвращения асфальто-смолопарафиновых отложений в насосно-компрессорных трубах можно сгруппировать в следующие направления:

- по результатам проведенных промысловых работ обнаружить тот рабочий параметр скважины, который оказывает наибольшее влияние на отложение парафина в НКТ и оптимизировать найденный параметр в целях предотвращения парафиноотложения в скважинном оборудовании;
- определить роль физико-химических и механических способов предотвращения парафиноотложения и выбрать среди них наиболее оптимальный вариант;
- выявить оптимальный вариант электромагнитного воздействия на скважинное оборудование.

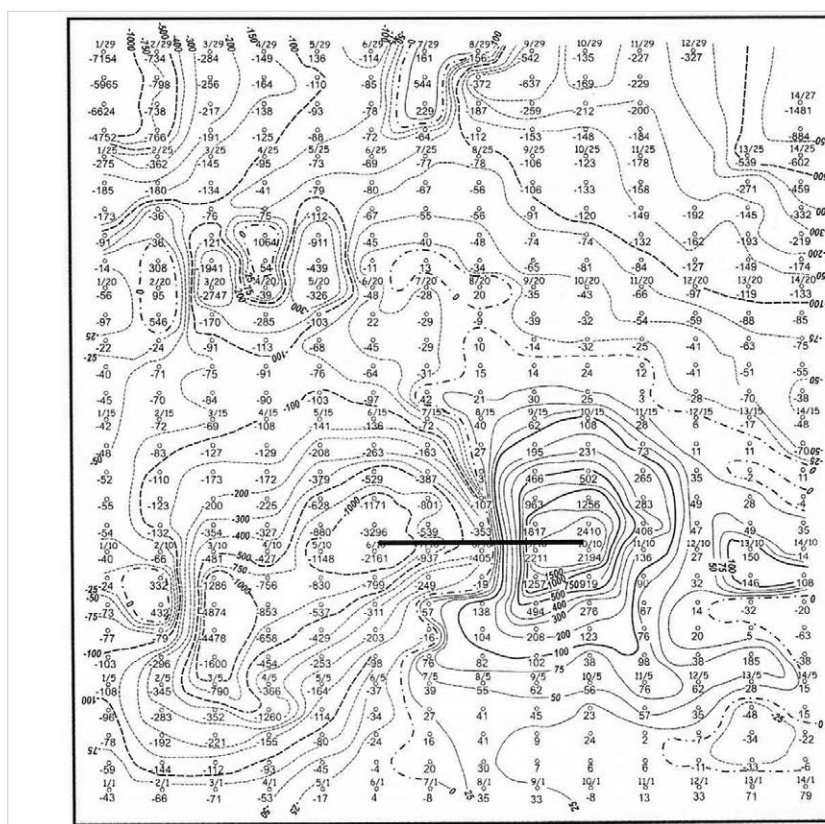
Перечисленные выше направления детально были изучены и прошли промысловые испытания. Одним из факторов парафинизации труб являются проявление ферромагнитных свойств ГНО. В связи с этим требуется подобрать материал, способствующий снижению влияния магнитного поля внутренней поверхности труб на процесс парафиноотложения.

Моделирование магнитного поля (магнитной индукции) над горизонтально расположенными намагниченными штоками (трубами малого диаметра)

В качестве модели для определения магнитной индукции использовались трубы НКТ 73 мм со скв. 10037 Уратьминского месторождения АО «Геология». Работы проводились в апреле 2011 г. Магнитное поле вблизи одного из концов длинного тонкого тела, намагниченного вдоль своей длины, аппроксимируется полем вблизи изолированного магнитного полюса (заряда) и представлено на рис. 4. Если принять глубину залегания заряда равной h , а величину магнитного заряда за Q и расположить координатные оси таким образом, чтобы ось X была направлена на магнитный север, ось Y на восток, ось Z вертикально вниз, то скалярный потенциал будет равен:

$$AU=Q*(x^2+y^2+z^2)^{-3/2},$$

а вертикальная компонента аномального магнитного поля при $z=-h$:



Масштаб 1:100

Рис. 4 — Пример отражения в магнитном поле горизонтального штока
Fig. 4 — Example of horizontal rod reflection in a magnetic field

$\Delta Z=Q*h*(x^2+y^2+z^2)^{-3/2}$.
Северная компонента магнитного поля равна:

$$\Delta H=Q*x*(x^2+y^2+z^2)^{-3/2}.$$

Напряженность магнитного поля (магнитная индукция) определяется формулой:
 $\Delta T=\Delta Z*\sin I + \Delta H*\cos I$,
где I — наклонение.

Приведенные выше уравнения предназначены для трехмерного моделирования (построение карт и 3D-изображений), в случае двухмерного моделирования (построение профилей при x (или y)=0) формулы упрощаются.

В нашем случае проводилось моделирование магнитного поля для системы двух труб диаметром 73 мм, расположенные вдоль одной оси, на разном расстоянии друг от друга.

Трехмерное моделирование проводилось в пределах виртуальной площадки с размером грида 51 на 78 метров (3978 расчетных точек). Карта аномального магнитного поля (изодинам Δt) представлен на рис. 4. Двухмерное моделирование проводилось вдоль центрального профиля (рис. 5). Всего было рассмотрено четыре случая (модели), с разным расположением намагниченных штоков.

При моделировании использовались следующие предположения: величина магнитного заряда принималась равной 1, глубина залегания труб (высота на которой находится магнитометр) — 2 метра. В первой модели трубы расположены встык друг к другу, без зазора. В следующих моделях (2, 3 и 4) трубы расположены на расстояниях 1, 2 и 5 метров соответственно (рис. 6).



Рис. 5 — Модельная площадка с размером грида 51 на 78 метров (3978 расчетных точек)

Fig. 5 — Model plot with a grid size of 51 to 78 meters (3978 reference points)

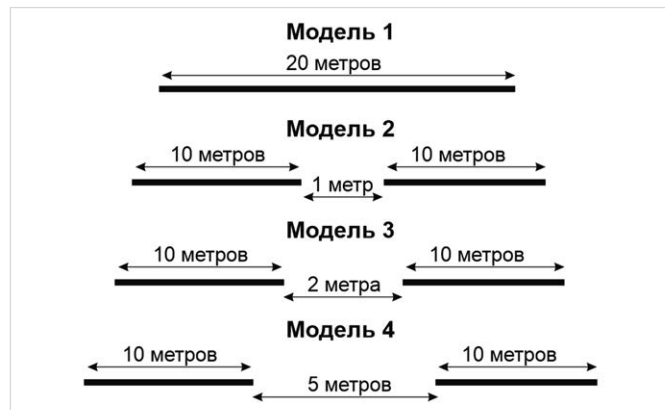


Рис. 6 — Модели, использованные для математических расчетов

Fig. 6 — Models used for mathematical calculations

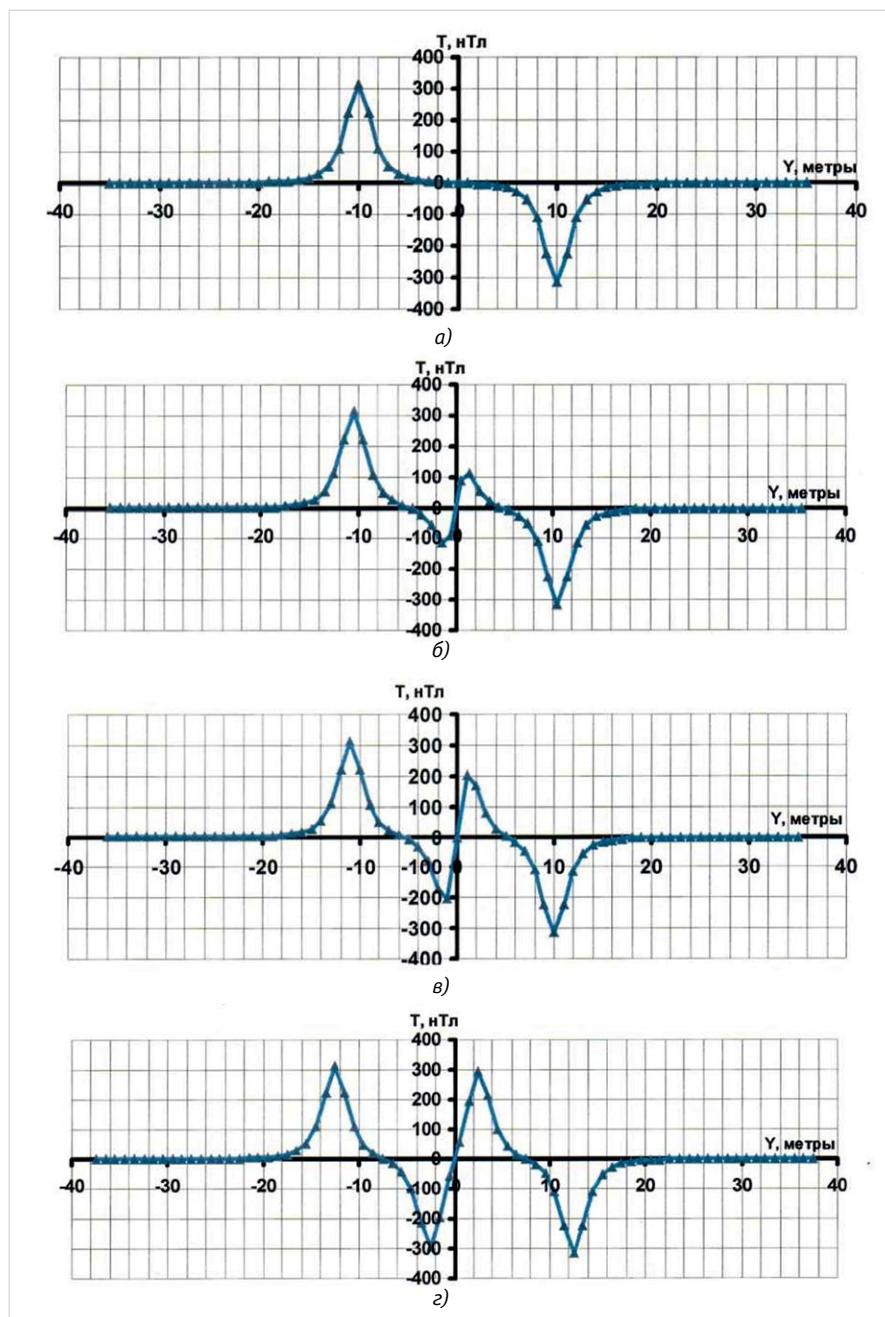


Рис. 7 — Результаты двухмерного моделирования по центральному профилю: а) модель 1, б) модель 2, в) модель 3, г) модель 4

Fig. 7 — The results of 2-D modeling along the central profile: a) model 1, b) model 2, c) model 3, d) model 4

Даже небольшие зазоры между трубами надежно фиксируются современными магнетометрами (рис. 7–9). На расстояниях равных и больших половины длины трубы взаимовлияние разнополярных источников практически равно нулю. При практических исследованиях необходимо обращать особое внимание на уровень помех и их искажающее влияние (особенно при небольших зазорах). Как видно на рис. 7, максимальное значение индукции магнитного поля составляет 320 нТл. С увеличением зазора магнитная индукция возрастает с 120 нТл (рис. 7, б) до 290 нТл (рис. 7, г). Такие же результаты получены и наглядно продемонстрированы на рис. 8 и 9.

На основе проведенных исследований и моделирования в отделе инноваций и экспертизы ООО УК «Шешмаойл» разработаны специальные муфты НКТ из диамагнитного материала «ДММ». Муфты «ДММ» устанавливаются в том участке, где наблюдается максимальное значение напряженности магнитного поля. С апреля 2011 г. началось внедрение муфт «ДММ», получены положительные результаты:

- на скв. 10037 наработка составила 8 лет без проведения ремонтов скважины, при этом при подъеме ГНО отложений АСПО не были обнаружены. До внедрения муфт «ДММ» наработка составляла около полугода. После внедрения муфт «ДММ» снизились максимальные нагрузки на головку балансира с 4,5 тн до 3 тн;
- на скв. 10044 и 10042 не зафиксировано АСПО на оборудовании при ремонте скважины, также зафиксировано снижение нагрузок на головку балансира, в среднем на 15–20%;
- на скв. 338 увеличение наработки составило 31%, при подъеме ГНО отложения АСПО были незначительными.

Изменения обводненности и состава АСПО после внедрения муфт «ДММ» приводят к выводу, что изменения параметров незначительные, по парафинам — в пределах 15%, по асфальтенам — 21% (таблица). На всех скважинах имелись отложения АСПО на оборудовании, причем на скважинах 10042 и 338 довольно значительные.

Итоги

Известно, что на отложения АСПО влияют ферромагнитные свойства ГНО, поэтому были проведены трехмерные и двухмерные

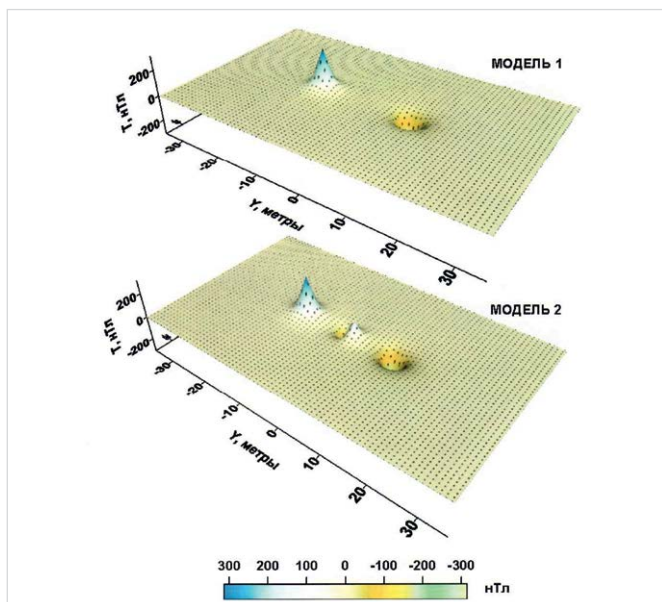


Рис. 8 — Результаты трехмерного моделирования модели 1 и 2
Fig. 8 — The results of 3-D modeling of the models 1 and 2

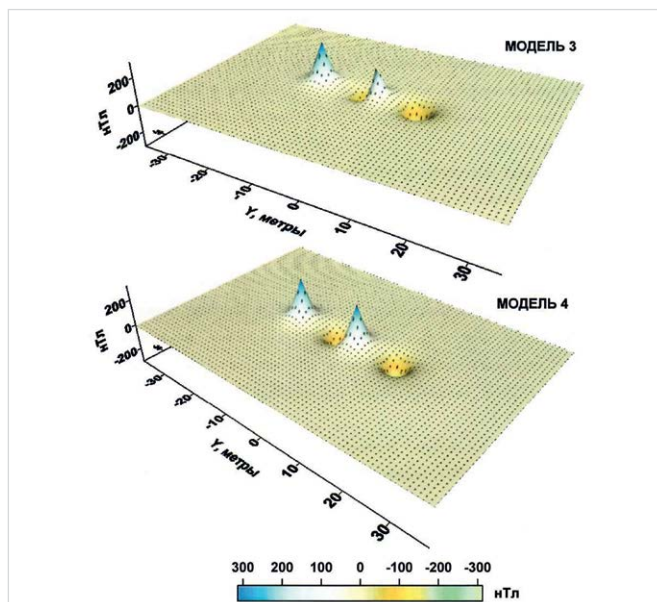


Рис. 9 — Результаты трехмерного моделирования модели 3 и 4
Fig. 9 — The results of 3-D modeling of the models 3 and 4

моделирования магнитного поля для системы двух труб малого диаметра расположенные вдоль одной оси, на разном расстоянии друг от друга. Значения напряженности магнитного поля показали, что между металлическими трубами необходимо установить специальные муфты НКТ, авторами был подобран диамагнитный материал «ДММ». Первые муфты «ДММ» были установлены в апреле 2011 г. Количество муфт в компоновке ГНО варьируется от 20 до 35 и зависит от глубины подвески насоса и природы образования АСПО в ГНО. Общее количество скважин, оборудованных муфтами «ДММ», составляет 4 скважины, на всех получены положительные результаты: увеличение межремонтного периода работы скважины и снижение максимальных нагрузок на головку балансира.

Выводы

1. На основе моделирования магнитного поля (магнитной индукции) над горизонтально

расположенными намагнитченными штоками (трубами малого диаметра) выявлено, что с увеличением зазора между трубами магнитная индукция возрастает с 120 нТл до 290 нТл.

2. Разработаны специальные муфты НКТ из диамагнитного материала «ДММ», преимуществом которых является отсутствие дополнительных затрат (электроэнергии, хим. реагентов, промывок и т.д.) и обслуживание рабочим персоналом нефтепромысла.

3. Внедрение муфт «ДММ» позволило снизить количество ремонтов скважин, связанных с отложениями АСПО на оборудовании. При подъеме ГНО в большинстве случаев АСПО обнаруженными не были.

Литература

1. Тронов В.П. Механизм образования смоло-парафиновых отложений и борьба с ними. М.: Недра, 1969. 192 с.
2. Люшин С.Ф., Рассказов В.А. и др. Борьба с отложениями парафина при добыче нефти.

М.: Гостехиздат, 1961. 152 с.

3. Кострюков Г.В., Мазепа Б.А. Промысловые исследования процесса отложения парафина в фонтанных скважинах. Труды ТатНИИ, вып. 1. Бугульма, 1959. С. 207–213.
4. Кострюков Г.В. Исследование тепловых процессов в фонтанных скважинах Татарской АССР. Труды ТатНИИ, вып. 1, 1959, 185-206 с.
5. Персиянцев М.Н. Добыча нефти в осложненных условиях. М.: Недра-Бизнесцентр, 2000. 653 с.
6. Тронов В.П. Механизм образования смоло-парафиновых отложений и борьба с ними. М.: Недра, 1970. 192 с.
7. Рогачев М.К., Стрижнев К.В. Борьба с отложениями при добыче нефти. М.: Недра-Бизнесцентр, 2006. 295 с.
8. Mansoori Ali G. Remediation of asphaltene and other heavy organic deposits in oil wells and pipelines. Socar proceedings — NIPi "Neftegaz", 2010, issue 4, pp. 12–23.

Таб. — Компонентный состав АСПО на скважинах с муфтами «ДММ»
Tab. — ARPD composition in wells with the DMM couplings

№ скважины	Дата внедрения муфт	Отложения АСПО до внедрения муфт, мм	Содержание, мас. %.									
			парафины		масла + смолы		асфальтены		вода		мех. примеси	
			До	После	До	После	До	После	До	После	До	После
10037	07.04.2011	2	1.92	1.8	39.83	30.74	3.2	3.4	55	64	0.05	0.06
10044	22.05.2016	4	0.5	0.7	3.17	0.42	1.3	1.8	95	97	0.03	0.08
10042	22.01.2017	30	1.3	1.5	0.26	0.5	1.4	0.9	97	97	0.04	0.1
338	20.08.2017	15	2.8	2.5	17.77	29.42	2.4	2	77	66	0.03	0.08

ENGLISH

OIL PRODUCTION

Simulation of a magnetic field to substantiate the development of special couplings preventing deposition of ARP substances in tubing string

UDC 622.276.53

Authors

Anatoliy A. Isaev — Ph.D., leading engineer of department for innovations and examination; isaeff-oil@yandex.ru

Rustem S. Takhautdinov — general director

Vladimir I. Malykhin — chief specialist for innovation activities

Almaz A. Sharifullin — Ph.D., head of department for innovations and examination

Sheshmaoil Management Company LLC, Almet'yevsk, Russian Federation

Abstract

Following the transition of most oilfields to the decline phase of development (mature oilfields) there are a growing number of problems related to oil well operation keep arising, particularly, formation of asphalt-resin-paraffin deposits (ARPD). The existing various solutions for the prevention of deposits of asphalt-resin-paraffin substances in downhole pumping equipment (DPE) do not make it possible to completely solve the problem, hence, the problem of ARPD removing is relevant. The ARPD problem in Sheshmaoil Management Company LLC exists on Uratminkoye oilfield, where the number of premature repairs reached 80%.

Materials and methods

In the first model, the pipes are located end-to-end, with no gap in between. In the following models the pipes are located at distances of 1, 2 and 5 meters, respectively. As the gap enlarges, the magnetic induction increases from 120 nT to 290 nT.

Keywords

asphalt-resin-paraffin deposits, premature repairs, ferromagnetic properties, magnetic field, magnetometer

Results

It is known that ARPD are influenced by the ferromagnetic properties of DPE; therefore, 3-D and 2-D magnetic field simulations were performed for a system of two small-diameter pipes located along the same axis at different distances from each other. The values of the magnetic field strength showed that special tubing couplings should be installed between the metal pipes, so the authors have selected the DMM diamagnetic material. The first DMM couplings were installed in April, 2011. The number of couplings in the DPE layout varies from 20 to 35 and depends on the pump installation depth and the nature of ARPD formation on the DPE. The total number of wells equipped with DMM couplings is 4, and positive

results have been achieved on all of them: these are an increase in the oil well operation time between overhauls and reduction of maximum load on the pumpjack's horsehead.

Conclusions

1. Based on the modeling of the magnetic field (magnetic induction) above the horizontally arranged magnetized rods (small diameter pipes) it was revealed that with the increase of the gap between the pipes the magnetic induction increases from 120 nT to 290 nT.
2. Special tubing couplings made of diamagnetic material DMM have been designed, the advantage of which is the absence of additional costs (electricity, chemical agents, flushing, etc.) and maintenance by oilfield workers.
3. Introduction of DMM couplings enabled reduction of the number of well workovers associated with ARPD on equipment. No ARPDs were detected after lifting the deep pumping equipment in most cases.

References

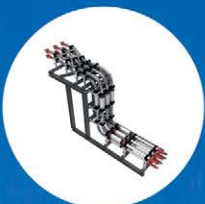
1. Tronov V.P. *Mehanizm obrazovaniya smoloparafinovykh otlozhenij i bor'ba s nimi* [Mechanism of resin-paraffin deposits formation and their control], Moscow: Nedra, 1969, 192 p.
2. Lyushin S.F., Rasskazov V.A. and oth. *Bor'ba s otlozhenijami parafina pri dobyche nefi* [Wax deposits control in oil production], Moscow: Gostoptekhizdat, 1961, 152 p.
3. Kostryukov G.V., Mazepa B.A. *Promyslovye issledovaniya processa otlozheniya parafina v fontannykh skvazhinah* [Field studies of wax deposition process in flowing wells], Proceedings of TatNII, issue 1, Bugulma, 1959, pp. 207–213.
4. Kostryukov G.V. *Issledovanie teplovykh processov v fontannykh skvazhinah Tatarskoj ASSR* [Study of thermal processes in flowing wells of Tatar ASSR], Proceedings of TatNII, issue 1, 1959, pp. 185–206 (in Russian)
5. Persiyantsev M.N. *Dobycha nefi v oslozhnennykh usloviyakh* [Oil production in complicated conditions]. Moscow: Nedra-Businesssentr, 2000, 653 p.
6. Tronov V.P. *Mehanizm obrazovaniya smolo-parafinovykh otlozhenij i bor'ba s nimi* [Mechanism of resin-paraffin deposits formation and their control], Moscow: Nedra, 1970, 192 p.
7. Rogachev M.K., Strizhnev K.V. *Bor'ba s otlozhenijami pri dobyche nefi* [Paraffin control in oil production], Moscow: Nedra-Businesssentr, 2006, 295 p.
8. Mansoori Ali G. Remediation of asphaltene and other heavy organic deposits in oil wells and pipelines. Socar proceedings — NIP "Neftegaz", 2010, issue 4, pp. 12–23.



РТК-ЭЛЕКТРО-М
РУССКАЯ ТЕХНИЧЕСКАЯ КОМПАНИЯ

8-800-550-33-11
www rtc-electro-m.ru
office@rtc-electro-m.ru

- шинопроводы/токопроводы для систем низкого и среднего напряжения
- проектирование, производство, монтаж
- гарантийное и сервисное обслуживание



**ПРЕИМУЩЕСТВА
ШИНОПРОВОДОВ
И ТОКОПРОВОДОВ
С ЛИТОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ**



Безопасный



Влагозащищенный



Необслуживаемый



Химически
стойкий



Ремонтопригодный



Малые потери
мощности



Прочный



Пожаростойкий



Надежный



Контактный