**Буренков Александр Евгеньевич. Разработка и исследование кабелей нагревания для нефтяных скважин : Дис. ... канд. техн. наук : 05.09.02 : Пермь, 2003 178 c. РГБ ОД, 61:04-5/461-7**

Работа выполнена в ОАО «КАМКАБЕЛЬ»

На правах рукописи

**Буренков Александр Евгеньевич**

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ КАБЕЛЕЙ НАГРЕВАНИЯ ДЛЯ НЕФТЯНЫХ СКВАЖИН

Специальность 05.09.02- Электротехнические материалы и изделия

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель - доктор технических наук профессор С. Д. Холодный



Пермь 2003

**СОДЕРЖАНИЕ**

[**ВВЕДЕНИЕ** 4](#bookmark1)

**ГЛАВА 1. Процессы парафинообразования в нефтяных**

**скважинах и методы борьбы с ними 7**

1. Способы эксплуатации нефтяных скважин 7
2. Отложения парафина в нефтяных трубах и способы борьбы с ними 15
3. Теплотехнический и электрический расчет в соответствии с инструкцией [13] 32
4. Механизм образования смоло-парафиновых отложений 38
5. Условия добычи нефти и парафинообразования на предприятиях ОАО «Оренбургнефть» 40
6. Расчет коэффициентов теплопередачи от скважины в грунт 44
7. Обсуждение результатов по главе 1. Задачи дальнейших

исследований 45

[**ГЛАВА 2. Исследование процессов теплопередачи и процессов отложения-растворения парафина в скважинах 49**](#bookmark15)

1. Исследование процессов отложения и растворения парафина 49
2. Процессы теплопередачи и массообмена в реальной конструкции скважины 70
3. Обсуждение результатов исследований в главе 2 84

[**ГЛАВА 3 Расчет режимов работы кабелей нагревания с учетом особенностей теплопередачи в нефтяных скважинах 85**](#bookmark43)

* 1. Система уравнений для расчета температуры в скважинах 85
  2. Расчет температуры нефти, стенки НКТ, жил кабеля и глубины начала отложения парафина 89
  3. Расчет мощности кабеля и температур нефти и жилы кабеля при периодическом включении кабеля в режиме растворения парафина 104
  4. Экспериментальное исследование нагревания нефти в скважинах с применением нагревательного кабеля 106
  5. Совместная работа кабелей питания насосов й кабелей нагревания 113
  6. Условия работы кабелей при их непрерывном и периодическом включении. Общие рекомендации для применения кабелей нагревания

и методика расчета 119

[**ГЛАВА 4. Конструирование и расчет кабелей нагревания для нефтяных скважин 122**](#bookmark51)

1. Определение оптимальных длин кабелей, площади сечения жил и оптимальных конструкций кабелей 122
2. Расчет и экспериментальное определение электрических и тепловых параметров кабелей нагревания 128
3. Материалы для изоляции и оболочки кабелей нагревания 141
4. Конструкции и основные параметры кабелей нагревания, изготовляемых ОАО «Камкабель» 150

[**ГЛАВА 5. Экспериментальные исследования процессов теплопередачи на модели нефтяной скважины 153**](#bookmark57)

1. Устройство установки 153
2. Основные технические характеристики оборудования и приборов, используемых в установке по определению параметров теплопередачи 158
3. Результаты исследований и методика их обработки 159

[ВЫВОДЫ 169](#bookmark58)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 173

**ВВЕДЕНИЕ.**

Актуальность темы.

Эксплуатация многих нефтяных скважин осложняется интенсивным пара- финогидратообразованием, предупреждение которого традиционными средст­вами (применение ингибиторов, растворителей и др.) не обеспечивается. Одним из путей профилактики пробкообразования является подогревание продукции скважин до температуры, исключающей выпадение твердой фазы при работе скважин. Источниками тепла для такого подогревания могут быть греющие ка­бели, расположенные внутри или снаружи нефтепроводящей трубы.

Нефтяные предприятия имеют опыт применения греющих кабелей в неф­тяных скважинах, в качестве которых использованы или силовые кабели для питания электродвигателей погружных насосов или геофизические кабели. Од­нако, такие кабели имеют параметры не полностью удовлетворяющие опти­мальным режимам подогревания скважин. Для этого необходимы специальные кабели нагревания. Целью диссертационной работы является расчет условий работы кабелей нагревания в нефтяных скважинах и их конструирование с це­лью оптимизации технико-экономических параметров их применения.

Новизна научных исследований.

1. На основе теоретического и экспериментального изучения процессов тепломассообмена в нефтяных скважинах и кабелях нагревания предложены:

* методика расчета теплового сопротивления при теплопередаче от обсад­ной трубы в окружающий грунт в зависимости от времени работы скважины и кабеля нагревания;
* методика расчета тепловых сопротивлений при теплопередаче между элементами конструкции скважины: кабель - нефть, кабель - нефтепроводящая труба, нефтепроводящая труба - обсадная труба;
* методика расчета теплового сопротивления кабелей плоской конструк-
* разработаны схемы замещения тепловых потоков и тепловых сопротив­лений для расчета температур жилы кабелей и нефти при расположении кабе­лей внутри и снаружи нефтепроводящей трубы;
* методика расчета допустимых токов нагрузки при работе силовых кабе­лей, кабелей нагревания, а также при их совместной работе;
* метод расчета кабеля нагревания со снижением необходимой мощности с увеличением времени его работы.

1. В результате анализа расчетов тепловых режимов при работе кабелей нагревания и силовых кабелей питания электродвигателей насосов предложены методы расчета мощности кабелей нагревания и температуры их жил и уста­новлено:

* при расположении кабелей нагревания снаружи нефтепроводящей трубы целесообразна только непрерывная работа кабеля нагревания;
* при расположении кабелей внутри нефтепроводящей трубы возможны режимы непрерывной и периодической работы кабелей нагревания, причем в высокодебитных скважинах целесообразно преимущественно периодическое включение кабеля нагревания в режиме растворения отложившегося слоя пара­фина.

1. В результате тепловых расчетов показано, что с целью снижения расхо­да электроэнергии целесообразно ступенчатое увеличение сечения жил кабеля по его длине по мере углубления в скважине и автоматическая регулировка мощности кабеля для поддержания постоянной температуры нефти при ее вы­ходе из устья скважины.

На защиту выносятся положения:

Методики расчета тепловых сопротивлений при теплопередаче от обсад­ной трубы в окружающий грунт, между отдельными элементами конструкции скважины и кабелей плоской конструкции.

Методики расчета необходимой мощности кабелей нагревания, допусти­мого тока нагрузки и температуры жил и нефти при работе силовых кабелей, кабелей нагревания и при их совместной работе.

Рекомендации по режимам работы кабелей нагревания при их расположе­нии снаружи и внутри нефтепроводящей трубы.

Разработанные конкретные конструкции кабелей нагревания и результаты их применения в нефтяных скважинах.

Практическое применение.

Разработаны трехжильные кабели нагревания марок КНСППоБ, КНСПШБ, КНППоБ, КНПШБ, изготовляемые в ОАО «Камкабель» по техническим усло­виям ТУ 16.К09-120-2000, а также аналогичные четырехжильные кабели.

Получен опыт применения этих кабелей в нефтяных скважинах предпри­ятий:

1. Башнефть НГДУ - Уфа - нефть. Скважина 665, длина кабеля со сталь­ными жилами 180 м. Заказано 20 линий с длиной кабеля нагревания 320 м.
2. Сибнефть, г.Ноябрьск. Работает 8 линий с длиной кабеля с медными жилами 1000 м (кабели КНППоБ 4x5.5 мм2).
3. «Пермтекс» (г.Соликамск). Скважина 146. Имеются положительные отзывы. Увеличился межочистной период и увеличился дебит нефти.

В результате применения кабелей нагревания увеличился дебит нефти и отпала необходимость остановки скважин для проведения чистки нефтепрово­дящих труб.

Выводы.

1. В результате анализа условий теплопередачи между элементами конструк­ции скважины показано, что для определения условий начала образования отложений парафина следует рассматривать не температуру нефти, а темпе­ратуру стенки нефтепроводящей трубы.
2. Показано, что тепловое сопротивление окружающего грунта увеличивается с возрастанием времени эксплуатации скважины и это позволяет постепенно снижать необходимую мощность кабеля нагревания.
3. Установлено, что при расчете температур нефти и жилы кабеля нагревания, расположенного снаружи нефтепроводящей трубы, основное значение имеет тепловое сопротивление между броней кабеля и стенкой трубы. Для сниже­ния этого сопротивления целесообразно увеличивать ширину кабеля пло­ской конструкции и располагать поверх кабеля защитный кожух из про­фильного металла.
4. Разработаны схемы соединения тепловых сопротивлений для расчета темпе­ратур жилы кабеля, стенки нефтепроводящей трубы и нефти при располо­жении кабелей внутри и снаружи нефтепроводящей трубы. Получены фор­мулы для расчета этих температур и необходимой мощности кабелей.
5. Показано, что периодический режим включения кабеля для растворения образовавшихся отложений парафина целесообразен только при расположении кабеля внутри нефтепроводящей трубы. При расположении снаружи трубы необходимая мощность кабеля и температура жил будут неоправданно высокими.
6. Непрерывный режим включения кабеля нагревания рекомендован для малодебитных скважин при расположении кабеля снаружи нефтепроводящей трубы. В скважинах с центробежными насосами возможно также расположение кабеля внутри трубы.
7. Разработаны методы расчета тепловых сопротивлений при теплопередаче: кабель - нефть, кабель — стенка нефтепроводящей трубы, нефтепроводящая труба - обсадная труба, обсадная труба - окружающий грунт.
8. Разработаны обоснованные методы расчета допустимого тока нагрузки с учетом всех тепловых сопротивлений для силовых кабелей, кабелей нагре­вания, а также при их совместной работе. Полученные токи нагрузки сило­вых кабелей соответствуют рекомендациям зарубежных фирм для аналогич­ных кабелей.
9. Разработаны конструкции трех и четырехжильных кабелей нагревания и тех­нические условия для этих кабелей ТУ 16.К09-120-2000. Организовано производство кабелей нагревания на предприятии ОАО «Камкабель».
10. Разработаны рекомендации по применению кабелей нагревания с сечением жил 5.5 мм2 в нефтяных скважинах.

Кабели с медными жилам. Трехжильные с напряжением питания перемен­ного тока до 400 В и четырехжильные с напряжением питания постоянного то­ка до 400 В - длина до 1000 м с расположением снаружи нефтепроводящей трубы.

Кабели со стальными жилами. Трехжильные с напряжением питания пере­менного тока 500 В, длина 500 м. Четырехжилььные кабели с напряжением пи­тания постоянного тока до 600 В, длина 500 м. Расположение снаружи нефте­проводящей трубы.

1. В качестве изоляции для кабелей нагревания с максимально допустимой температурой 120 °С рекомендован силансшитый полиэтилен высокой плот­ности (СПЭВП) и блоксополимер этилена с пропиленом (СЭП). Возможно применение комбинированной изоляции из двух слоев — первый слой СПЭВП и второй слой СЭП.
2. Применение разработанных кабелей в нефтяных скважинах предприятий Башнефть НГДУ - Уфа - нефть, Сибнефть (г. Ноябрьск), «Пермьтекс» (г.Соликамск) позволило увеличить дебит нефти и устранить необходимость периодической очистки нефтепроводящей трубы от отложений парафина.

Основные результаты работы отражены в следующих публикациях:

1. Буренков А.Е., Макиенко Г.П., к.т.н., Мерзляков Б.Л., Смильгевич В.В., к.т.н., Холодный С.Д., д.т.н. «Расчет нагревания потока нефти в скважине при применении нагревательного кабеля». Пермская обл. для нефтегазовой индустрии. Сборник, Пермь 2001. Агентство «Стиль - МГ, 2001 г., с.37 - 41.
2. Буренков А.Е., Макиенко Г.П., к.т.н., Смильгевич В.В., к.т.н., Мерзляков Б.Л., Холодный С.Д., д.т.н. «Расчет допустимого тока нагрузки в кабелях для погружных электронасосов с применением нагревательного кабеля». Перм­ская обл. для нефтегазовой индустрии. Сборник, Пермь 2001. Агентство «Стиль - МГ, 2001 г., с.41 - 44.
3. Буренков А.Е. «Кабель нагрева». Пермская обл. для нефтегазовой индуст­рии. Сборник, Пермь 2001. Агентство «Стиль - МГ, 2001 г., с.36 - 37.
4. Буренков А.Е., Макиенко Г.П., к.т.н, Савченко В.Г. «Разработка и качество кабелей для УЭЦН». Пермская обл. для нефтегазовой индустрии. Сборник, Пермь 2001. Агентство «Стиль - МГ, 2001 г., с.16 - 26.
5. Буренков А.Е., Макиенко Г.П., к.т.н., Савченко В.Г. «Исследование и произ­водство кабелей со сшитой полиэтиленовой изоляцией для установок, при­меняемых при добыче нефти». Пермская обл. для нефтегазовой индустрии. Сборник, Пермь 2001. Агентство «Стиль - МГ, 2001 г., с.26 - 35.
6. Буренков А.Е., Смильгевич В.В., к.т.н., Холодный С.Д., д.т.н. «Расчет допус­тимого тока нагрузки в кабелях для погружных электронасосов». «Элек- тро» № 4, 2001 г., с.9 - 11.