



**М.Л. Струпинский,**  
генеральный директор ГК «ССТ»,  
к.т.н., доктор электротехники  
АЭН РФ



**Комплексное решение ГК «ССТ»  
для обогрева нефтяных скважин  
с вязкими и парафинистыми нефтями,  
предотвращающее образование  
асфальтосмолопарафинистых  
отложений**





По материалам доклада на Второй ежегодной встрече по подводным силовым и нагревательным кабелям для нефтегазовой промышленности (27-28 сентября 2016, Осло)

**Нефтедобывающая отрасль заинтересована в технологических решениях**, которые повысят рентабельность добычи тяжелых нефтей. **Статья посвящена** одному из таких решений – **комплексу Stream Tracer для защиты скважин от асфальтосмолопарафиновых отложений** на основе гибкого нагревателя с переменной по длине мощностью.

## **Новая реальность — рост доли скважин с «тяжелой» нефтью в общей структуре мировой добычи**

По прогнозам экспертов, к 2050 году мировое потребление энергии вырастет на 100%, по сравнению с сегодняшним уровнем. Несмотря на бурное развитие альтернативной энергетики, основным источником энергии останется нефть. Пик добычи так называемых легких и средних нефтей планируется на следующие 10-15 лет, после чего добыча данных нефтей будет падать.

Для удовлетворения потребностей общества в энергии, мировой нефтедобывающий комплекс обращает все большее внимание на дорогостоящие нетрадиционные и труднодоступные источники углеводородов. Тяжелые нефти и газовые гидраты в условиях истощения традиционных нефтей приобретают все большее значение в мировой экономике. Их добыча все еще представляет трудности, но она уже стала рентабельной.

**В мировой практике чаще всего используется следующая классификация:**

- Тяжелыми нефтями считаются углеводородные жидкости с плотностью 920 – 1000 кг/м<sup>3</sup> и вязкостью от 10 до 100 мПа·с.
- К природным битумам относят слабобитумные или полутвердые смеси преимущественно углеводородного состава с плотностью более 1000 кг/м<sup>3</sup> и вязкостью выше 10000 мПа·с.
- Промежуточную группу между битумами и тяжелыми нефтями образуют так называемые сверхтяжелые нефти с вязкостью от 100 до 10000 мПа·с и плотностью около или несколько более 1000 кг/м<sup>3</sup>. Тяжелые и сверхтяжелые нефти часто объединяют под общим названием — тяжелые или высоковязкие нефти.

По разным оценкам запасы тяжелых нефтей и природных битумов составляют от 790 млрд. тонн до 1 трлн. тонн, что в 5-6 раз больше остаточных извлекаемых запасов нефтей малой и средней вязкости, которые составляют около 162 млрд. тонн. Разведанных запасов тяжелых нефтей и природных битумов гораздо меньше, но и эти запасы на 6% превышают известные на сегодня запасы легких и средних нефтей.

Наибольшими запасами тяжелых нефтей и природных битумов обладают Венесуэла, Канада и Россия. После истощения мировых запасов обычной нефти и при условии эффективного применения методов добычи тяжелых нефтей и битумов, эти страны смогут усилить свою роль на глобальном рынке энергоресурсов.

В России запасы тяжелой нефти составляют около 55% от общего объема нефтяных запасов. Российские месторождения высоковязкой нефти расположены в Пермском крае, Татарстане, Башкирии, Удмуртии в Республике Коми. Помимо энергетической составляющей, тяжелая нефть содержит большое

количество редких металлов: таких как ванадий, никель, молибден и других.

Нефтедобывающая отрасль заинтересована в технологических решениях, которые повысят рентабельность добычи тяжелых нефтей. Статья посвящена одному из таких решений — комплексу Stream Tracer для защиты скважин от асфальтосмолопарафиновых отложений на основе гибкого нагревателя с переменной по длине мощностью.

## **Защита скважины от образования АСПО — критически важная задача ближайших лет**

Проблема образования АСПО в нефтедобывающих скважинах известна давно. Она связана с тем, что при понижении температуры и разгазировании флюида, поднимающегося по НКТ, нефть теряет способность растворять содержащиеся в ней парафин и смолы.

При добыче парафинистой нефти в верхней части скважины на стенках НКТ происходит отложение парафина и смол. Из-за этого поперечное сечение НКТ сужается, возрастает сопротивление движению жидкости, увеличивается нагрузка на насос.

**Образование АСПО приводит к таким негативным факторам как:**

- сокращение добычи нефти
- неэффективное использование нефтяных ресурсов
- преждевременный выход из строя дорогостоящего оборудования
- сокращение межремонтного периода оборудования
- ухудшение технико-экономических показателей месторождений

Учитывая возрастающее значение добычи тяжелых нефтей, предотвращение образования АСПО в НКТ сегодня является одной из ключевых технологий эффективной добычи нефти.

**Разработка конструкции такого нагревательного кабеля является сложнейшей инженерной задачей, в особенности при учете комплекса требований, которые предъявляются к скважинным кабелям. Нам удалось решить эту задачу и разработать гибкий кабельный самонесущий СКИН-нагреватель, а также комплексное решение для защиты скважин от АСПО на его основе.**

Для решения данной проблемы в настоящее время используются следующие методы:

- обработка скважин химическими реагентами
- очистка от отложений механическими скребками
- тепловая обработка.

Каждый из данных способов имеет свои преимущества и недостатки. Но наиболее эффективным способом тепловой обработки является обогрев ствола скважины электрическим нагревательным кабелем.

### **Система обогрева скважин на основе нагревательного кабеля — поиск оптимального решения**

Системы кабельного электрообогрева скважин используются на нефтяных месторождениях России с начала 2000-х годов. Основная задача таких систем — обеспечить поддержание

температуры движущегося флюида выше температуры выпадения парафина.

Как правило для обогрева скважин используются двух- или трехжильные резистивные кабели постоянной мощности. Данные нагревательные кабели решают задачу обогрева, но не являются оптимальными с точки зрения энергоэффективности. Длина таких нагревательных кабелей подбирается с большим запасом, мощность тепловыделения кабеля определяется зачастую только теплостойкостью изоляции кабеля, а не реальными теплопотерями флюида в насосно-компрессорной трубе (НКТ).

Внешние граничные условия, определяющие теплопотери НКТ, переменны по глубине скважины — геотерма грунта имеет наклон около 20 – 30°C на километр. Соответственно, обогрев скважины нагревательным кабелем с линейной мощностью, постоянной по всей длине приводит к избыточному энергопотреблению системы электрообогрева.

Оптимальным с точки зрения энергопотребления является решение, когда система обогрева работает только в той зоне, где температура флюида в обычных условиях опускается ниже температуры выпадения парафина, а нагревательный кабель имеет переменное тепловыделение по глубине скважины. Причем мощность такого кабеля должна изменяться плавно в широком диапазоне: линейная мощность нижней части кабеля будет близка к нулю, тогда как в приповерхностной части мощность может достигать 70 Вт/м.

Разработка конструкции такого нагревательного кабеля является сложнейшей инженерной задачей, в особенности при учете комплекса требований, которые предъявляются к скважинным кабелям. Нам удалось решить эту задачу и разработать гибкий кабельный самонесущий СКИН-нагреватель, а также комплексное решение для защиты скважин от АСПО на его основе.

## Нагревательный кабель с переменной по длине мощностью — основа энергоэффективной защиты скважины от АСПО

В 2015 году специалисты ГК «ССТ» разработали и презентовали комплексное решение для защиты нефтяных скважин от АСПО.

«Сердцем» данной системы является специальный гибкий самонесущий нагреватель, который имеет зоны повышенной и пониженной мощности, что позволяет существенно снизить энергопотребление системы обогрева скважины. Специалисты ГК «ССТ» первыми в мире разработали и запатентовали решение по обогреву нефтяных скважин подобными нагревателями.

Нагреватель выполнен по коаксиальной схеме, причем тепло выделяется, как за счет протекания тока в проводниках, так и за счет токов, наведенных в сложном внешнем проводнике. Данное техническое решение позволяет повысить эффективность теплоотдачи от нагревателя в нефтяной флюид по сравнению с классическими резистивными системами электрообогрева.

Питание на нагреватель подается с верхнего конца. На нижнем конце нагревателя установлена герметичная муфта. Нагреватель имеет ступенчато изменяемую мощность по длине в соответствии с температурным графиком скважины.

На рис. 2 показано распределение температуры флюида по глубине в реальной скважине, на которой была установлен комплекс Stream Tracer, в режиме непрерывной прокачки. Синяя кривая показывает изменение температуры флюида при номинальном дебите и отсутствии обогрева, зеленая прямая — граничное значение температуры, ниже которого не должна опускаться температура выкачиваемой нефти, чтобы исключить образование АСПО.



Рис. 1. Гибкий самонесущий нагреватель.

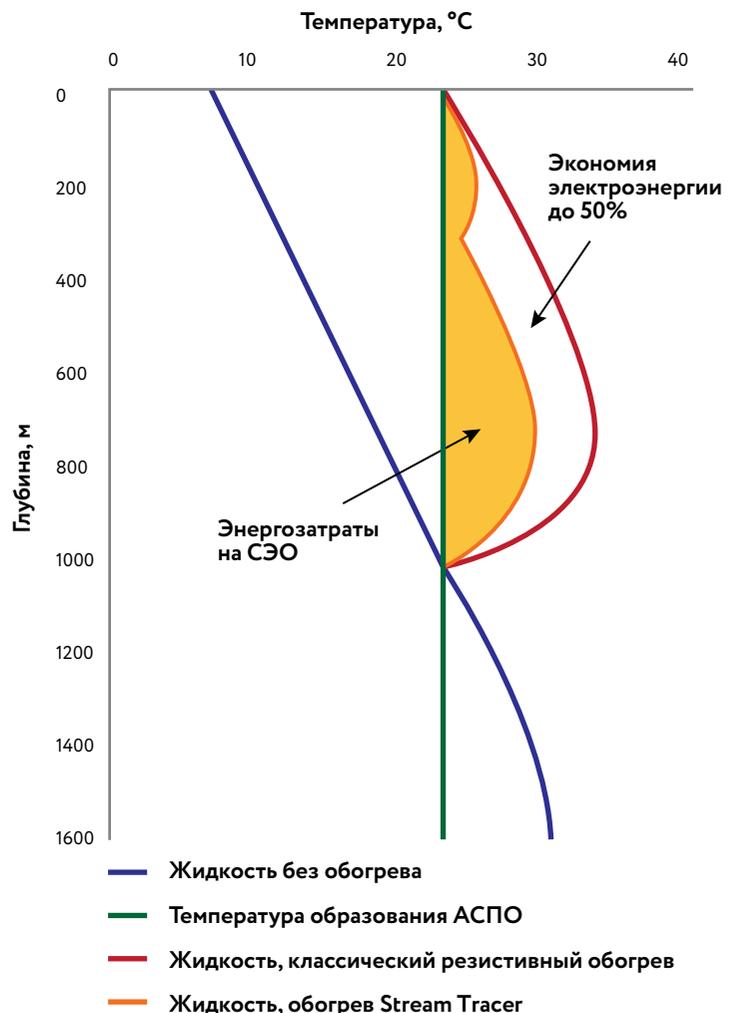


Рис. 2. Распределение температуры флюида по глубине скважины.

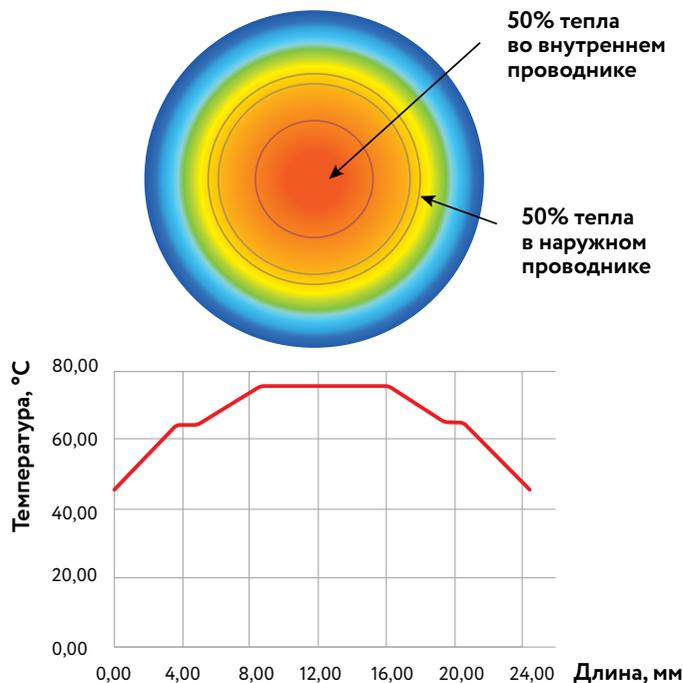


Рис. 3. Тепловыделение нагревателя комплекса Stream Tracer.

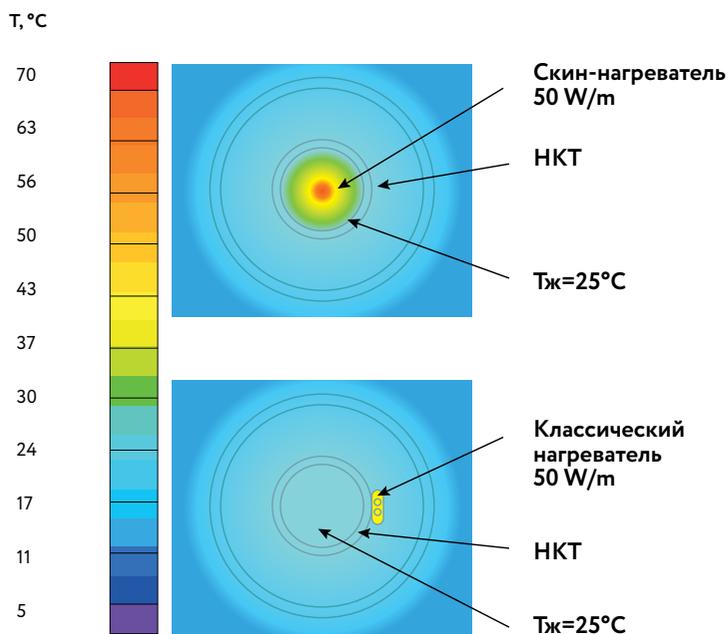


Рис. 4. Сравнение эффективности нагрева флюида гибким нагревателем и резистивным кабелем.

Красная кривая соответствует обогреву скважины кабелем с постоянной по длине мощностью, оранжевая — обогреву скважины разработанным в ГК «ССТ» нагревателем с участком повышенной мощности длиной 300 м у поверхности грунта.

Область между этими кривыми показывает переизбыток мощности при обогреве кабелем с одной ступенью по мощности относительно двухступенчатого обогрева.

Наши исследования показали, что для определения оптимальной конфигурации обогрева конкретной скважины в две ступени следует принимать мощность «горячего» участка нагревателя на 30%, выше мощности «холодного» участка.

Нагреватель для комплекса Stream Tracer выполнен по коаксиальной схеме, причем тепло выделяется, как за счет протекания тока в проводниках, так и за счет токов, наведенных в сложном внешнем проводнике. Данное техническое решение позволяет повысить эффективность теплоотдачи от нагревателя в нефтяной флюид по сравнению с классическими резистивными системами электрообогрева (рис.3).

Разделение нагревателя на зоны разной мощности приводит к снижению уровня перегрева флюида и повышению технико-экономических показателей месторождений. Применение оригинального нагревателя ГК «ССТ» с переменной по длине линейной мощностью позволяет снизить энергопотребление системы обогрева ствола скважины практически на 50%.

Такие преимущества новой разработки ГК «ССТ», как повышенная гибкость, механическая прочность, а также возможность изменения тепловыделения по длине, позволяют использовать наше решение не только для предотвращения образования АСПО в нефтяных скважинах, но также для предотвращения образования газогидратов в газовых скважинах, для обогрева подводных трубопроводов

и участков трубопроводов в местах перехода через реку.

В отличие от классических способов электрообогрева, гибкий нагреватель размещается внутри НКТ, в непосредственном контакте с нефтяной жидкостью. Это обеспечивает большую эффективность обогрева по сравнению с другими решениями (Рис. 4)

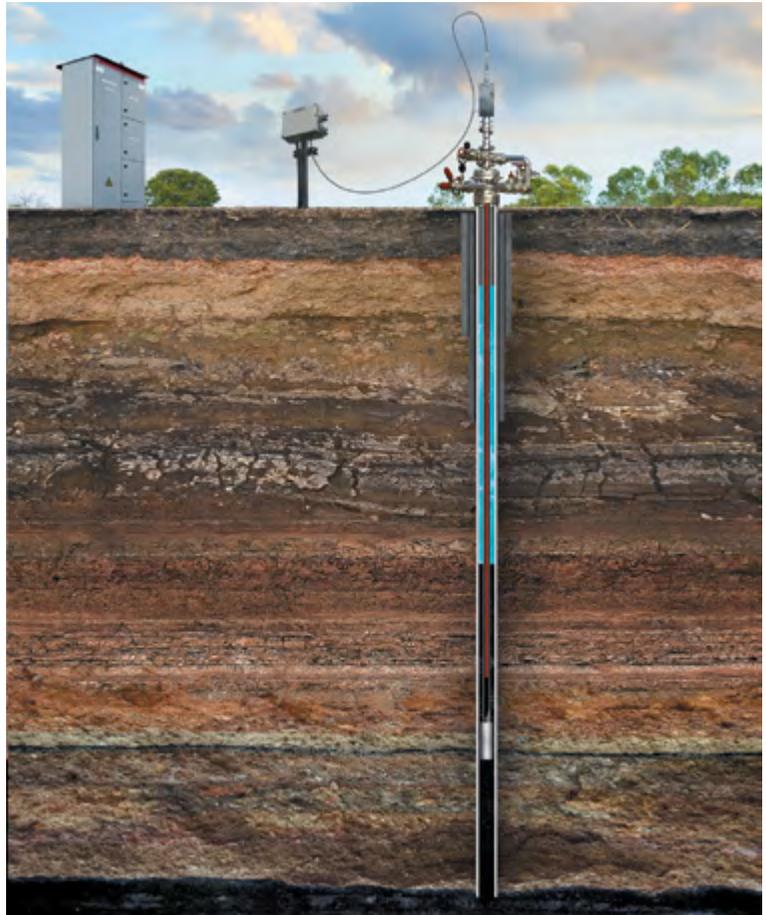
### Комплексное решение для обогрева скважин — путь к снижению эксплуатационных затрат на добычу

ГК «ССТ» более 20 лет оснащает системами электрообогрева объекты крупнейших российских нефтегазовых корпораций. В большинстве проектов мы выступаем, как отраслевой интегратор, который берет на себя весь комплекс задач, связанных с проектированием, комплектованием, логистикой, инсталляцией и эксплуатацией систем электрообогрева. Комплексная экспертиза является нашим преимуществом и представляет значимую ценность для заказчиков.

Разработка уникального нагревателя с переменной по длине мощностью для обогрева скважин стала первой фазой нашего проекта. Мы ставили перед собой задачу — предложить готовую систему, которая не потребует отвлечения дополнительных ресурсов заказчиков.

Использование этой системы на основе гибкого кабельного самонесущего СКИН-нагревателя увеличивает межремонтный период эксплуатации скважины и повышает эффективность использования энергоресурсов. Таким образом наше решение позволяет заказчикам снизить затраты на эксплуатацию скважины и уменьшить негативное воздействие на окружающую среду.

Комплекс Stream Tracer состоит из нагревателя, станции управления, трансформатора, устьевого шлюза. Для монтажа и обслуживания Stream Tracer используется мобильный



#### Технические характеристики нагревателя для обогрева скважин

Напряжение питания:	до 1 кВ;
Линейная мощность:	до 50 Вт/м;
Длина нагревателя:	до 1,5 км <sup>°</sup>
Нагреватель устойчив к химическим соединениям, входящим в состав сырой нефти и жидкостям, применяющимся при добыче нефти;	
Нагреватель сохраняет работоспособность при:	
внешнем давлении	до 150 атмосфер
температуре нефтегазовой среды	до 70°C
Минимальная температура монтажа:	минус 20°C
Минимальный радиус изгиба:	не менее 400 мм;
Нагреватель сохраняет работоспособность после 100 перегибов на радиус 400 мм <sup>°°</sup>	
Раздавливающее усилие:	до 12 кН (при скорости спуска-подъема до 0,25 м/с);
Растягивающее усилие:	до 28 кН;
Герметичность:	IP68

<sup>°</sup>в настоящее время ведутся разработки нагревателя длиной до 3-х км.

<sup>°°</sup>при положительной температуре окружающей среды.



Рис. 6. Мобильный комплекс

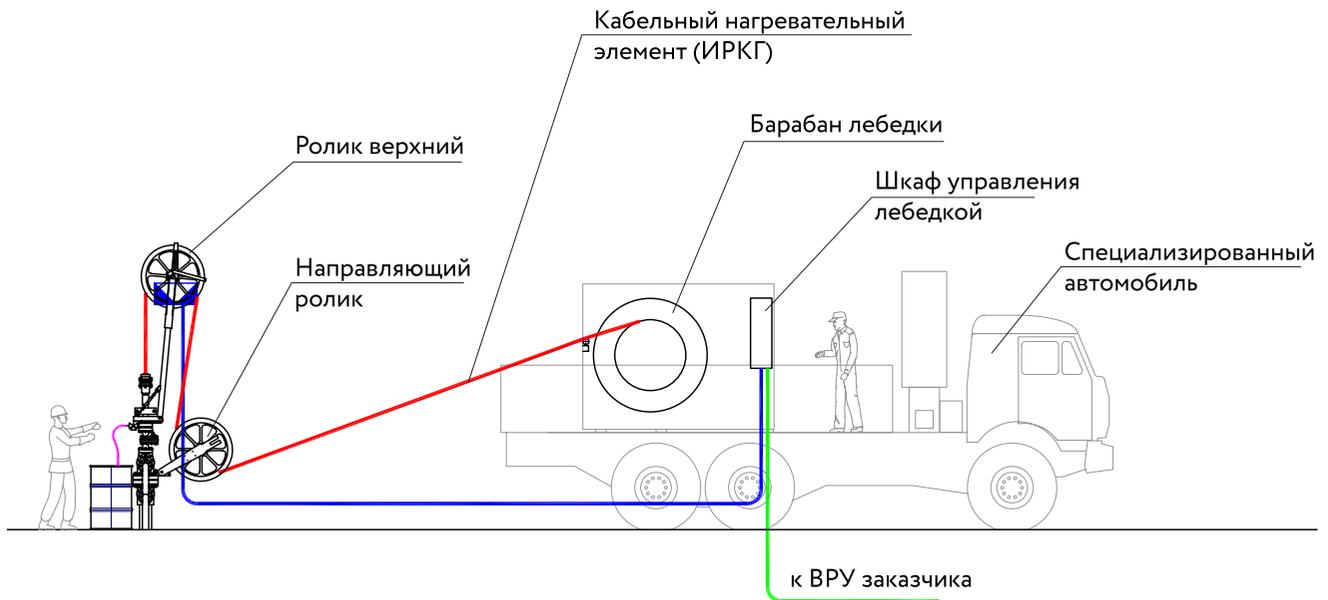


Рис.7. Схема расстановки спускоподъемного оборудования комплекса Stream Tracer



Рис.8. Выход нагревателя через лубрикативный узел



Рис.9. Система управления комплекса Stream Tracer

комплекс на базе автомобиля повышенной проходимости и спуско-подъемный механизм. (рис. 6 и 7)

Специальный нагревательный кабель, с помощью мобильного комплекса для установки, помещается внутрь насосно-компрессорной трубы. Нефть в скважине нагревается до температуры, превышающей температуру кристаллизации парафинов, что предотвращает появление отложений.

Станция управления нагревом контролирует работу всей системы и позволяет, как в ручном, так и в автоматическом режимах:

- осуществлять и прекращать подачу электрического тока на нагревательный элемент;
- контролировать ток, протекающий через нагревательный элемент;
- контролировать напряжение, приложенное к нагревательному элементу;

**Эффективность предлагаемого нами решения и надежность всех элементов** системы подтверждена опытно-промышленными испытаниями на Казаковском месторождении ОАО «ЛУКОЙЛ-Пермь». **Комплекс обеспечил увеличение температуры добываемой нефти** на уровне устья скважины от  $+7^{\circ}\text{C}$  до  $+22,5^{\circ}\text{C}$ , обеспечив стабильный дебит скважины. При этом **энергопотребление системы для поддержания оптимальной температуры нефти уменьшилось** на 47% по сравнению с системами подогрева на основе нагревателя постоянной мощности

- регулировать температуру нагревательного элемента в скважине;
- отключать нагреватель при отключении станции управления работой центробежного насоса;
- измерять температуру добываемой жидкости в термокармане, врезанном в нефтесборный коллектор;
- измерять и регулировать температуру внутри герметичного шкафа станции управления прогревом;
- автоматически отключать силовой пускатель (снимать напряжение с силового трансформатора и, соответственно, нагревательного элемента) от промышленной сети при наличии тока утечки, а также управлять другими устройствами системы.

Эффективность предлагаемого нами решения и надежность всех элементов системы подтверждена опытно-промышленными испытаниями на Казаковском месторождении ОАО «ЛУКОЙЛ-Пермь». Комплекс обеспечил увеличение температуры добываемой нефти на уровне устья скважины от +7°C до +22,5°C, обеспечив стабильный дебит скважины. При этом энергопотребление системы для поддержания оптимальной температуры нефти уменьшилось на 47% по сравнению с системами подогрева на основе нагревателя постоянной мощности

Таким образом, система обогрева скважин от ГК «ССТ» решает задачу предотвращения образования АСПО в энергоэффективном режиме, не отвлекая человеческие и временные ресурсы заказчика.

## Выводы

**1** Решение проблемы образования АСПО – критически важная технология наступающей эпохи добычи «тяжелых» нефтей

**2** Специалистами ГК «ССТ» разработан комплекс Stream Tracer на основе уникального гибкого самонесущего нагревателя для предотвращения образования АСПО. Данное решение позволяет вести эксплуатацию осложненных парафинами нефтяных скважин, увеличив их межремонтный период, а также существенно снижает энергопотребление по сравнению с другими способами предотвращения АСПО

**3** В ГК «ССТ» внедрена технология серийного производства гибких нагревателей и разработан комплекс оборудования для монтажа, пуска-наладки и демонтажа комплекса

**4** Комплекс Stream Tracer успешно прошел испытания на объекте ОАО «Лукойл» и подтвердил свою надежность и энергоэффективность

## Литература:

1. «Тяжелые нефти, газовые гидраты и другие перспективные источники углеводородного сырья»: Учебно-методическое пособие/ Щепалов А.А.. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2012. УДК 665.6
2. «Исследование различных технологий повышения эффективности выработки запасов высоковязких нефтей на турнейских отложениях ашальчинского месторождения»/ Р.Р. Рахматуллина, институт «ТатНИПИнефть»
3. «Проектирование и эксплуатация систем электрического обогрева в нефтегазовой отрасли»: справочная книга/ М.Л. Струпинский, Н.Н. Хренков, А.Б. Кувалдин. – М.: Инфра-Инженерия, 2015, УДК 622.323, ISBN 978-5-9729-0086-2