

# Электрообогрев нефтяных скважин

## Энергоэффективное решение для защиты от АСПО

Михаил Струпинский, Артем Соловьев

В статье представлена технология защиты скважин от асфальтосмолопарафиновых отложений (АСПО), образующихся при добыче тяжелых и высоковязких нефтей. В основе технологии — гибкие нагревательные кабели с переменной по длине скважины мощностью. Результаты опытно-промышленных испытаний показали устойчивый рост температуры добываемой нефти на уровне устья скважины с +7 до +22,5°C, что предотвратило образование АСПО в скважине и обеспечило стабильный дебит.

Ключевые слова: АСПО, обогрев скважин, электрообогрев, скин-нагреватели, межремонтный период, энергопотребление.

В России запасы тяжелой, высоковязкой нефти составляют около 55% от общего объема нефтяных запасов. Месторождения таких нефтей расположены в Пермском крае, Татарстане, Башкирии, Удмуртии, Республике Коми.

Учитывая возрастающее значение добычи тяжелых нефтей, предотвращение образования АСПО в насосно-компрессорной трубе (НКТ) сегодня является одной из ключевых технологий эффективной добычи нефти.

### Образование АСПО в скважинах

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 в скважинах приводит к таким негативным последствиям как:

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

Таблица 1  
Характеристики нагревателя для обогрева скважин

Параметр	Значение
Напряжение питания	до 1 кВ;
Линейная мощность	до 50 Вт/м;
Длина нагревателя	до 1,5 км*
Нагреватель сохраняет работоспособность при:	
- внешнем давлении	до 150 атм
- температуре добываемого флюида	до 70°C
- перегибах	до 100 перегибов на R=400 мм**
Минимальная температура монтажа	-25°C
Минимальный радиус изгиба	не менее 400 мм
Раздавливающее усилие	до 12 кН (при скорости СПО до 0,25 м/с)
Растягивающее усилие	до 28 кН
Герметичность	IP68

\* в настоящее время ведутся разработки нагревателя длиной до 3 км

\*\* при положительной температуре окружающей среды

Для решения данной проблемы в настоящее время используются следующие методы: обработка скважин химическими реагентами, очистка от отложений механическими скребками, тепловая обработка, электрообогрев.

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

## Кабельный электрообогрев

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 его изоляции, а не реальными теплопотерями флюида в НКТ.

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

## Энергоэффективный обогрев

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.

В 2015 году специалисты ГК «ССТ» разработали комплексное решение для защиты нефтяных скважин от АСПО – систему Stream Tracer. «Сердцем» данной системы является специальный гибкий самонесущий скин-нагреватель с зонами повышенной и пониженной мощности. Это позволяет существенно снизить энергопотребление системы обогрева скважины за счет повышения эффективности теплоотдачи от нагревателя в нефтяной флюид по сравнению с классическими резистивными системами электрообогрева (СЭО).

На рисунке 1 показано распределение температуры флюида по глубине в реальной скважине, где была установлена система Stream Tracer, в режиме непрерывной добычи. Синяя кривая показывает изменение температуры флюида при номинальном дебите и отсутствии обогрева, зеленая прямая – граничное значение, ниже которого не должна опускаться температура добываемой нефти, чтобы исключить образование АСПО.

Красная кривая соответствует обогреву скважины кабелем с постоянной по длине мощностью, оран-

**Михаил Струпинский** — к. т. н., генеральный директор ГК «ССТ».

**Артем Соловьев** — руководитель направления обогрева скважин, «ССТЭнергомонтаж» (входит в ГК «ССТ»).

## ENERGY EFFICIENT OPERATION OF OIL WELLS

The article describes method to protect oil wells from asphaltene-resin-paraffin deposits (ARPDs) — paraffin and tar deposits which build up on the tubing walls in the upper portion of the borehole. The solution is based on a flexible self-supporting skin-heater cable solution. Pilot testing has demonstrated a steady increase in the temperature of the oil at the wellhead from +7 to +22.5°C, which prevented the formation of downhole ARPDs and ensured a stable flow rate.

Keywords: ARPD, well heating, electric heating, skin-effect heaters, turnaround time, power consumption

**Mikhail Strupinsky, Artem Soloviev**

жевая — обогреву скважины нагревателем Stream Tracer с участком повышенной мощности длиной 300 м у устья скважины.

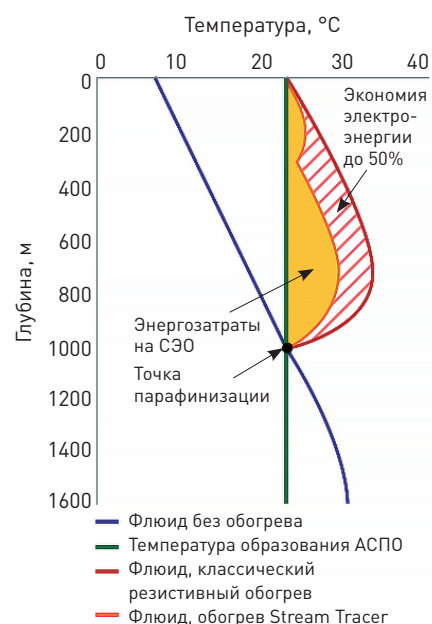
Заштрихованная область показывает переизбыток мощности при обогреве кабелем с одной ступенью по мощности относительно двухступенчатого обогрева.

Результаты исследований показали, что для определения оптимальной конфигурации двухступенчатого обогрева конкретной скважины следует принимать мощность «горячего» участка нагревателя на 30% выше мощности «холодного» участка.

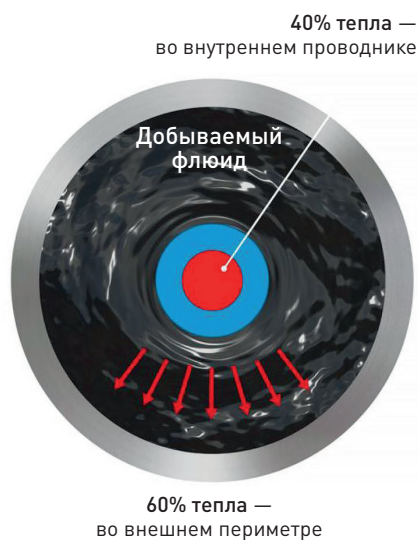
*Нагреватель*

для комплекса Stream Tracer выполнен по коаксиальной схеме (рис. 2, табл. 1), причем тепло выделяется как за счет протекания тока в проводниках (40%), так и за счет токов, наведенных в сложном внешнем проводнике (60%). Данное техническое решение позволяет повысить эффективность теплоотдачи от нагревателя

**Рисунок 1**  
Распределение температуры флюида по глубине скважины



**Рисунок 2**  
**Тепловыделение нагревателя**  
**комплекса Stream Tracer**



в нефтяной флюид по сравнению с классическими резистивными системами электрообогрева.

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%.

Комплекс Stream Tracer состоит из нагревателя, станции управления, трансформатора, устьевого шлюза. Для монтажа и обслуживания Stream Tracer используется мобильный комплекс на базе автомобиля повышенной проходимости и спуско-подъемный механизм (рис. 3, 4).

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

Необходимо подчеркнуть, что установка и спуск нагревателя занимает не более 2–3 часов и не требует дополнительной квалификации персонала.

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

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

### Опытно-промышленные испытания

Эффективность системы Stream Tracer и надежность всех ее компонентов подтверждена опытно-промышленными испытаниями на Казаковском месторождении ООО «ЛУКОЙЛ-Пермь» с февраля 2016 года по февраль 2017 года. Комплекс обеспечил увеличение температуры добываемой нефти на уровне устья скважины с +7 до +22,5°C и стабильный дебит скважины. При этом энергопотребление системы для поддержания оптимальной температуры нефти уменьшилось на 47% по сравнению с системами подогрева на основе нагревательного кабеля постоянной мощности.

### Заключение

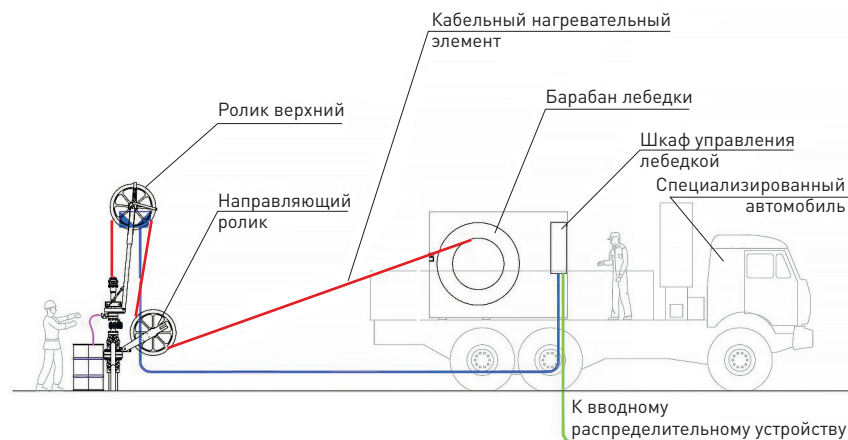
Представленная система обогрева скважин Stream Tracer решает задачу предотвращения образования АСПО в энергоэффективном режиме практически без привлечения дополнительных человеческих и временных ресурсов.

Высокая эффективность обогрева скважины по сравнению с классическими способами электро-

**Рисунок 3**  
**Компоненты комплекса Stream Tracer**



Рисунок 4  
Спуско-подъемное оборудование комплекса Stream Tracer



обогрева достигается за счет размещения гибкого нагревателя внутри НКТ (в непосредственном контакте с добываемым флюидом), а также переменного (по глубине скважины) тепловыделения кабеля.

Повышенная гибкость, механическая прочность и возможность изменения тепловыделения по длине позволяют использовать новую технологию обогрева не только для предотвращения образования

АСПО в нефтяных скважинах, но и для предотвращения образования газогидратов в газовых скважинах, для обогрева подводных трубопроводов и участков трубопроводов в местах перехода через реку.

#### Литература

1. А.А. Щепалов. Тяжелые нефти, газовые гидраты и другие перспективные источники углеводородного сырья: учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2012. – 93 с.
2. Р.Р. Рахматуллина. Исследование различных технологий повышения эффективности выработки запасов высоковязких нефтей на турнейских отложениях Ашальчинского месторождения // Сборник трудов «ТатНИПИнефти», 2014, секция 1 «Геология, разработка нефтяных и нефтегазовых месторождений». – С. 1–16.
3. М.Л. Струпинский, Н.Н. Хренков, А.Б. Кувалдин. Проектирование и эксплуатация систем электрического обогрева в нефтегазовой отрасли: справочная книга. – М.: Инфра-Инженерия, 2015. – 272 с.