

# Научные исследования, разработка, организация производства и внедрение системы индукционно-резистивного обогрева длинных и сверхдлинных трубопроводов.



**Уважаемые читатели!**

**В этом номере журнала мы начинаем публикацию серии статей, посвященных созданию в «ССТ» полностью отечественной скин-системы обогрева длинных трубопроводов ИРСН15000, соответствующей современному уровню науки и техники. Надеемся, что эти статьи помогут нашим читателям лучше понять назначение, особенности построения и эксплуатации данного высоко технологичного и наукоемкого вида систем обогрева.**

## Актуальность обогрева сверхдлинных трубопроводов нефтегазоконденсатных месторождений.

### 1.1. Система «Тепломаг», обогрев внутриплощадочных трубопроводов.

Существенное значение для экономики страны играют работы, связанные с эксплуатацией и освоением нефтегазоконденсатных месторождений, выполняемые в районах Крайнего Севера и Сибири, различными фирмами, входящими в группы компаний «Газпром», «Лукойл», «Транснефть», «Роснефть».

Эффективность работы нефтяных и газовых месторождений в экстремальных климатических условиях напрямую связана с устойчивой и безаварийной работой систем транспортировки добываемых и технологических жидкостей: газа, воды, газового конденсата, нефти. Наличие систем обогрева обеспечивает стабильность работы трубопроводных систем и технологического оборудования, повышает качество продукции, снижает риски эксплуатации нефтегазоконденсатных месторождений в экстремальных климатических условиях.

Для обогрева внутриплощадочных трубопроводов и резервуаров получили распространение системы обогрева с использованием электрических нагревательных кабелей, которые показали высокую эффективность и надежность. Широко используются и продолжают внедряться системы обогрева «ТЕПЛОМАГ», разработанные и серийно производимые ООО «Специальные системы и технологии» [1,2,3].

Системы «Тепломаг» также получили распространение на нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятиях, таких как «Кириши-нефтеоргсинтез», «Саянскимпласт» [4] и береговых перегрузочных комплексах [5].

Необходимость обогрева трубопроводов диктуется тем обстоятельством, что в условиях Крайнего Севера транспортировка указанных жидкостей

осложняется образованием парафиновых, ледяных и газогидратных пробок. В случае остановки по необходимости транспортировки воды по водоводам, вода может замерзнуть и разрушить трубу. Газовый конденсат и нефть при низких температурах значительно увеличивают свою вязкость, что увеличивает нагрузку на насосы, а при остановке транспортировки образуют непроходимые пробки.

Наличие системы обогрева позволяет обеспечить нормальное круглогодичное функционирование газовых, нефтяных трубопроводов и водоводов. С одной стороны системы обогрева обеспечивают стабильность технологических процессов на месторождении, а с другой, являются элементом обеспечения безопасности и повышения надежности нефтегазового оборудования и систем жизнеобеспечения.

Суммируя сказанное, перечислим основные задачи, которые решает электрообогрев трубопроводов:

- Предотвращение загустевания и замерзания транспортируемых жидкостей;
- Компенсация тепловых потерь;
- Поддержание температуры технологического процесса;
- Стартовый разогрев остановленного трубопровода.

Разработка проектов, поставка, монтаж на объектах и сервисное обслуживание систем «Тепломаг» реализуются работниками предприятий, входящих в Группу компаний «Специальные системы и технологии». Так, например, системы «ТЕПЛОМАГ» успешно функционируют более, чем на сотне нефтяных и нефтегазоконденсатных месторождений, обеспечивая работу внутриплощадочных трубопроводов различного назначения.

Внутриплощадочные трубопроводные системы характеризуются большой разветвленностью, разнообразием трубопроводов по размерам и длине. Характерная длина внутриплощадочных трубопроводов - десятки и, в отдельных случаях, сотни метров. В качестве нагревательных элементов наибольшее

распространение получили саморегулирующиеся нагревательные кабели, обладающие целым рядом достоинств. Отличительная особенность саморегулирующихся кабелей - существенная зависимость выделяемой мощности от температуры обогреваемого объекта, что резко повышает безопасность систем обогрева, упрощает проектирование и монтаж систем. При этом длина типовых саморегулирующихся нагревательных кабелей в редких случаях превышает 100 м. Важная часть систем обогрева внутриплощадочных трубопроводов на саморегулирующихся кабелях - это система подвода электропитания к ним. Отметим, что на месторождениях обычно имеется источник электроэнергии достаточной мощности и распределительная электрическая сеть, что упрощает построение системы подачи питания.

### 1.2. Обогрев межплощадочных трубопроводов

Доставка углеводородного сырья с удаленных площадок на центральный пункт сбора осуществляется по межплощадочным трубопроводам. Длина межплощадочных трубопроводов при этом составляет от 2-3 до 20-40 км. В условиях, когда теплое время года не превышает 3 месяцев, безопасная и надежная работа трубопроводов возможна только при условии оснащения их системами обогрева. Задача обогрева межплощадочных трубопроводов решительно отличается тем, что необходимо обогревать отдельные трубопроводы большой длины, проходящие по ненаселенной территории, на которой отсутствуют источники электроэнергии. Если использовать для межплощадочных трубопроводов традиционные схемы обогрева на основе саморегулирующихся нагревательных кабелей, то главной проблемой становится задача подачи питания к распределительным коробкам,

которые следует располагать вдоль трубопровода каждые 100-200 метров. При этом стоимость системы питания превосходит стоимость собственно нагревательных кабелей в 2-3 раза.

Общепризнанным решением обогрева сверхдлинных трубопроводов является система с использованием скин-эффекта или иначе индуктивно-резистивная система (ИРСН). Перед началом данной работы принцип индуктивно-резистивного обогрева был известен только в общих чертах, именно как принцип.

В России отсутствовали инженерные методики расчета характеристик скин-систем, таких как линейная мощность, напряжение питания, рабочий ток в зависимости от размеров и характеристик элементов и в зависимости от длины трубопровода. Первоначально скин-систему обогрева трубопроводов в конце 70-х годов прошлого столетия предложила и реализовала японская фирма «Чис-со» [6,7]. Однако, в их публикациях давалось только самое общее описание системы, которое не могло служить основой для проектирования.

Система индукционно-резистивного обогрева трубопроводов, называемая также скин-системой в иностранных источниках именуется как SECT система (skin electric current thermosystem) или SEHT (skin electric heating \*\*\*). В отечественной литературе возможность применения скин-систем для обогрева трубопроводов упоминалась в [8,9].

В районе 2000 года на российском рынке систем обогрева трубопроводов появились предложения американской фирмы Райхэм (Тайко) по скин-системам обогрева. Информация была представлена в каталогах фирмы в самом общем виде, также без каких либо указаний на критические параметры системы.

На рубеже 80-90-х годов в СССР были построены первые опытные скин-системы обогрева трубопроводов, которые, однако, базировались не на специально созданных, а на серийных изделиях общепромышленного применения. Из-за отсутствия проработанной научной базы и специали-

зированных изделий длина этих трубопроводов не превышала 2 км. Системы отличались низкой надежностью и не получили сколько-нибудь широкого применения. А к 2000 году в России не было ни одной действующей системы и опыт проектирования был утерян.

Можно констатировать, что перед началом данной работы способ обогрева длинных трубопроводов на основе скин-эффекта в России был известен только в общих чертах.

**2. Основная научно-техническая идея индуктивно-резистивной системы (скин-системы) обогрева трубопроводов**

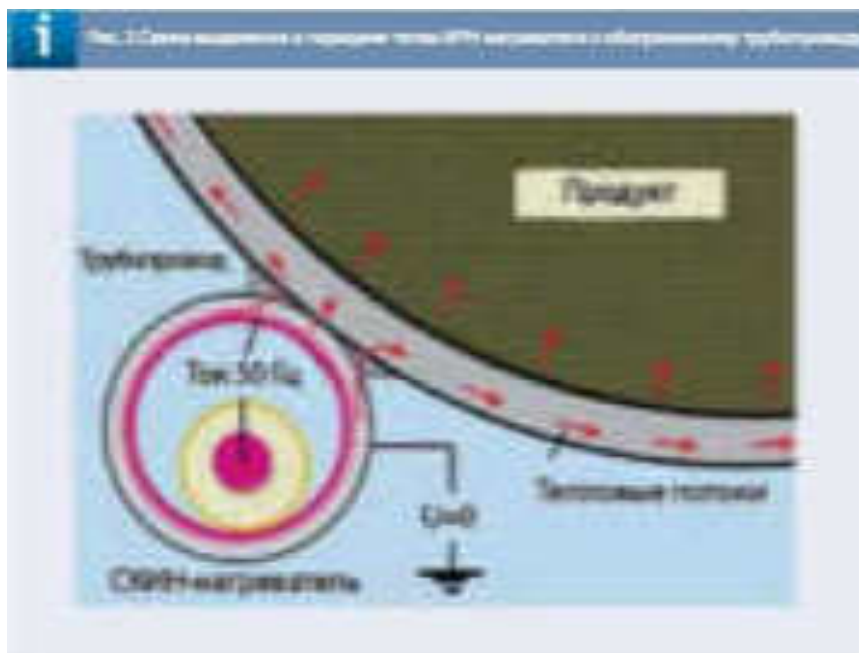
**2.1. Принципиальная схема скин-системы обогрева.**

Индуктивно-резистивная система (скин-система) содержит нагреватели,

состоящие из высоковольтного кабеля достаточно большого сечения, помещенного в ферромагнитную (стальную) трубу (рис.1 и 2). На переднем конце такой линии подается питающее напряжение, а на дальнем конце жила кабеля и труба соединяются накоротко.

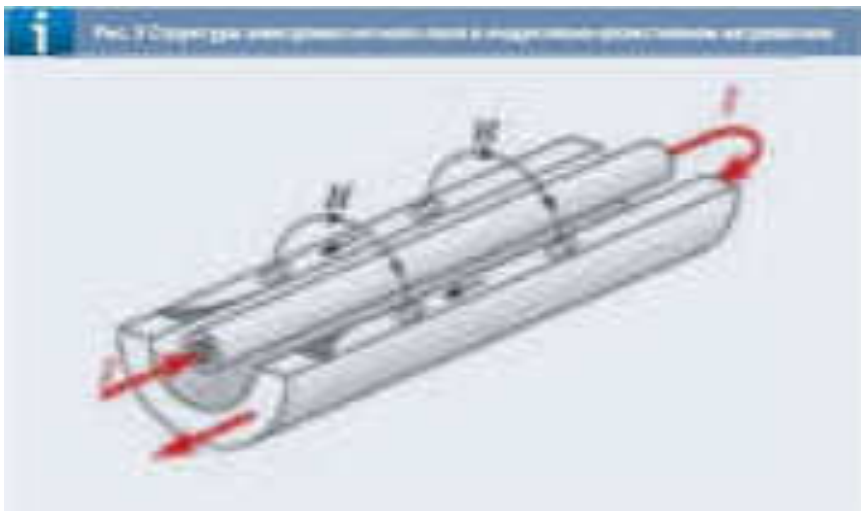
За счет тока, протекающего по кабелю, в жиле кабеля выделяется тепловая энергия согласно закона Джоуля- Ленца. В обратную сторону ток протекает по ферромагнитной трубке. Взаимодействие электромагнитных полей внутреннего и внешнего проводников порождает следующие эффекты.

**Рис. 1** Принципиальная схема индукционно-резистивного нагревателя



При правильном подборе таких параметров как значение тока, значения

одной точки обогревать трубопровод длиной до 20 км. Если из средней точки



питающего напряжения и падения напряжения на единицу длины, в стенке ферромагнитной трубки, даже на частоте 50 Гц, реализуется полноценный скин-эффект. За счет этого в стальной трубке ток протекает только около внутренней поверхности (рис. 2 и 3). При этом толщина стенки трубки должна превышать глубину проникновения электромагнитного поля примерно в 3 раза.

При соблюдении указанных условий на внешней поверхности трубки электрический потенциал практически отсутствует. Поскольку толщина скин-слоя невелика, его сопротивление заметно превосходит сопротивление внутреннего проводника, обычно выполняемого из меди, и в стальной трубке выделяется до 80 % общего теплового потока.

## 2.2. Достоинства скин-систем обогрева.

Как следует из приведенного описания и рис.1, подобный скин-нагреватель одновременно выполняет роль питающей линии, что позволяет обогревать длинные трубопроводы, подавая питание только из одной точки. Правда возникает необходимость использования высоковольтного кабеля и остального высоковольтного оборудования, что диктуется необходимостью обогревать длинные трубопроводы. Типовое значение линейного падения напряжения в нагревателе данного типа составляет 0,25-0,40 В/м. Если вся система спроектирована в расчете на питающее напряжение 5000 В, то это позволяет из

подать питание на два плеча, то реализуется обогрев трубопровода длиной 40 км.

Благодаря тому, что внешний проводник скин-системы - это стальная достаточно толстостенная трубка, обеспечивается высокая механическая прочность и защищенность электрической изоляции внутреннего проводника.

С другой стороны, нулевой потенциал на наружной поверхности нагревателей делает скин-систему электрически безопасной. Поэтому, скин-нагреватель прокладывается непосредственно по поверхности обогреваемого трубопровода и может быть заземлен в любой точке. Данное свойство - одно из условий применения скин-системы обогрева во взрывоопасных зонах.

## Заключение

Указанные положительные свойства скин-систем обогрева, особенности их расчета, требования к элементам конструкции как самого нагревателя так и ко всей системе в целом, стали понятны только в ходе исследовательских и конструкторских работ, проведенных в ССТ, что позволило создать отечественную скин-систему обогрева длинных трубопроводов, получившую наименование индуктивно-резистивная система ИРСН 15000.

О результатах данных работ, о внедрении ИРСН 15000 будет рассказано в следующих статьях данного цикла. [И](#)

7. Хренков Н.Н. ТЕПЛОМАГ-обогрев трубопроводов и резервуаров. «ОН@ Gas Eurasia», 2002, №2.

2. Струпинский МЛ., Хренков Н.Н. Системы «ТЕПЛОМАГ» для перспективных проектов нефтегазового комплекса. «Территория НЕФТЕГАЗ» 2007, № 11, с.68-69.

3. Струпинский МЛ. Хренков Н.Н. Расчет мощности систем обогрева трубопроводов. «Трубопроводный транспорт [теория и практика]» 2008, №1(11) с.078 - 083.

4. Постников АЛ., Малахов С. А. Опыт компании «ССТЭлектромон-таж» по

## Литература:

оборудованию объектов Киришского НПЗ системами электрообогрева.

«Промышленный электрообогрев и электроотопление», 2012, №4, с. 20-25.

5. Десятьев МА. Комплексный подход к реализации проекта на примере Таманского перегрузочного комплекса. «Промышленный электрообогрев и электроотопление», 2012, №2, с. 24 - 28.

6. Ando Masao. Apparatus for maintaining liquid being transported in a pipe line at elevated temperature. Patent USA №3293407, опубли.

20.12.1966, заявлен 07.11.1963, приоритет от 17.11.1962

7. Ando M. Electric heating of pipeline with skin current7/Elektrowarme Int. 1971. Bd. 29 №1, s. 36-37

8. Кувалдин А.Б. Индукционный нагрев магнитной стали на промышленной частоте. Итоги науки и техники, Электротехнология, т. 2. - М.: ВИНТИ. 1976,-82 с.

9. Кувалдин А.Б. Индукционный нагрев ферромагнитной стали. - М.: Энергоатомиздат, 1988. - 200 с.