

# Система электрообогрева трубопроводов

## Саморегулирующиеся кабели отечественного производства

Михаил Струпинский

В статье представлена технология электрического обогрева трубопроводов различного назначения с помощью саморегулирующихся нагревательных кабелей. Описаны конструкция и принцип действия саморегулирующихся кабелей. Приведены примеры успешного применения таких систем электрообогрева на объектах нефтегазового комплекса. Значительное внимание уделено проблеме импортозамещения — проведен анализ потенциала отечественных производственных мощностей по выпуску саморегулирующихся кабелей и их комплектующих.

Ключевые слова: обогрев трубопровода, саморегулирующийся кабель, внешнее температурное воздействие, электропроводящий пластик, тепловыделение, энергоэффективность, импортозамещение.

Развитие добычи, транспортировки и переработки нефти и нефтепродуктов выявило проблему необходимости подогрева трубопроводов, резервуаров и других объектов.

Проблема обогрева объектов особенно актуальна для районов севера европейской части России и Сибири. Острая необходимость обогрева трубопроводов в условиях Крайнего Севера диктуется тем обстоятельством, что транспортировка добываемых флюидов осложняется образованием парафиновых, ледяных и газогидратных пробок. В случае остановки по необходимости вода в водоводе может замерзнуть и разрушить трубу. Газовый конденсат и нефть при низких температурах значи-

тельно увеличивают свою вязкость, что повышает нагрузку на насосы, а при остановке транспортировки приводит к образованию непроходимых пробок.

Наличие системы обогрева позволяет обеспечить нормальное круглогодичное функционирование газовых, нефтяных трубопроводов и водоводов. Поэтому, 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.

Обогрев трубопроводов повышает качество продукции, снижает риски разработки месторождений



Таманский перегрузочный комплекс СУГ, нефти и нефтепродуктов

в экстремальных климатических условиях, а также решает следующие задачи:

- предотвращает загустевание и замерзание транспортируемых жидкостей;
- компенсирует тепловые потери;
- поддерживает температуру технологического процесса;
- обеспечивает стартовый разогрев остановленного трубопровода.

### Системы обогрева

В первых системах обогрева объектов нефтегазовой отрасли в качестве теплоносителей применялись

дымовые газы, горячая вода (90°C) и пар (130–140°C). Трубопроводы также обогревались синтетическими и минеральными маслами, стойкими к высоким температурам (свыше 170°C). Наибольшее распространение получил водяной пар, легко транспортируемый и не представляющий пожарной опасности. Насыщенный пар под давлением 0,3–0,4 МПа обеспечивает нагрев нефтепродукта до 80–100°C.

Преимущества применения пара для обогрева трубопроводов и резервуаров следующие:

- большая теплоемкость;
- простота генерации;
- возможность передачи на заметные расстояния.

Однако нельзя не отметить недостатки такого решения:

- необходимость борьбы с коррозией и отвода конденсата;
- относительно короткие «плечи» подогрева трубопроводов (до 500 м);
- заметное падение температуры пара по длине трубопровода и, как следствие, увеличение тепловых потерь;
- высокая стоимость эксплуатации при коротком сроке службы паропроводов и необходимость большого штата персонала на обслуживание системы;
- значительные затраты на генерацию пара и устройство системы, в том числе на организацию замкнутого контура для циркуляции теплоносителя;
- отсутствие автоматизации, кроме контроля температуры и расхода пара на каждое «плечо».

С конца 1960-х годов вместо систем обогрева паром более широкое распространение получили системы обогрева с использованием электрических нагревательных кабелей, которые показали высокую эффективность и надежность. Разнообразие типов кабельной продукции позволяет решать различные задачи промышленных предприятий.

Нагревательным элементом в системе электрообогрева может выступать:

- кабель постоянной мощности (резистивный);
- нагревательный элемент на основе скин-эффекта;
- нагревательный кабель с минеральной изоляцией;
- саморегулирующийся кабель.

### «Умный» обогрев

Системы электрообогрева (СЭО) на основе саморегулирующихся нагревательных кабелей (СРК) наилучшим образом соответствуют высоким требованиям, предъявляемым к безопасности промышленных объектов.

По сравнению с другими решениями СРК имеет следующие преимущества:

- Надежность. Уникальные свойства саморегулирующегося кабеля исключают возможность самоперегрева.

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

### HEAT TRACING SYSTEM FOR PIPELINES

#### Self-regulating cables of Russian manufacture

The article presents electric cable heating technology for pipelines using self-regulating heating cables. It describes the design and operating principle of self-regulating heating cables and shows examples of the successful implementation of such systems at oilfield surface facilities. The authors pay serious attention to the import phaseout issue in Russia and analyze the potential capacity of local manufacturing plants to produce self-regulating heating cables and their components. Keywords: heat tracing pipeline heating, self-regulating heating cable, external thermal exposure, electrically conductive plastics, heat emission, energy efficiency, import phaseout.

**Michael Strupinsky**

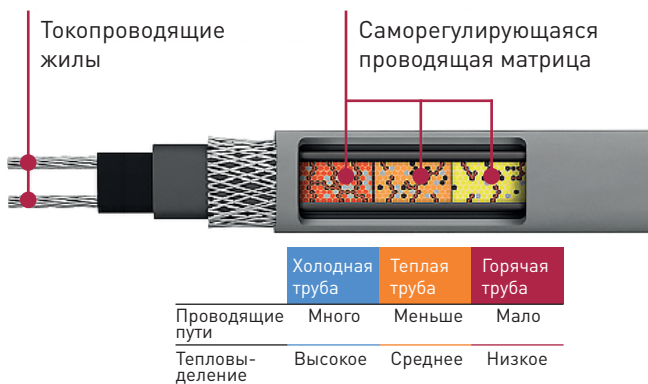
- Безопасность. Исключена возможность перегрева объекта.
- Удобное использование. Возможность вести монтаж на объекте, используя отрезки необходимой длины.
- Простота управления. Автоматическое реагирование на внешние температурные воздействия, возможность интеграции в системы внешнего управления обогревом.
- Энергоэффективность. Для обогрева объекта расходуется ровно столько энергии, сколько необходимо.

Саморегулирующиеся кабели только внешне напоминают электрические кабели (рис. 1). Они предназначены для тепловыделения, а не для передачи электрической мощности или информации.

Принцип работы СРК основан на тепловыделении в матрице, изготовленной из специального электропроводящего и тепловыделяющего компаунда. Материал матрицы наполнен композиционным материалом и обладает положительным температурным коэффициентом сопротивления (ТКР). За счет этого достигается эффект саморегулирования: при росте температуры компаунда его сопротивление растет, а вместе с ростом сопротивления падает выделяющаяся тепловая мощность (рис. 2). Изделие постоянно находится в тепловом равновесии с окружающей средой, меняя свои электрические свойства. Это уникальное свойство саморегулирующихся кабелей, с одной стороны, объясняет их востребованность в промышленности, а с другой — задает ряд специфических критериев и условий для организации их производства.

Каждый небольшой участок саморегулирующихся кабелей в процессе работы может менять свои электрические свойства. Это крайне необычно для кабельных изделий, одним из главных свойств

**Рисунок 1**  
**Конструкция саморегулирующегося кабеля (СРК)**



которых является стабильность параметров по длине.

Главная особенность саморегулирующихся кабелей — распространение электрического тока как в продольном направлении, обеспечивающем тепловыделение по длине, так и в поперечном, при этом ток проходит через два контакта «металл — пластик». Электрические контакты типа «металл — пластик» являются уникальной особенностью саморегулирующихся кабелей. Следует отметить, что в мире крайне мало электротехнических изделий, в которых используется такой контакт.

### Локализация производства

Несмотря на то что в таких странах, как США, Великобритания, Швейцария, Франция, Южная Корея, Китай, организовано производство саморегулирующихся кабелей и проводящих пластмасс для них, данная технология по-прежнему считается уникальной и требует специального оборудования и высококлассных специалистов.

Разработка и производство электропроводящего пластика с положительным ТКР, использование электрического контакта «металл — пластик», необходимость выпуска СРК со строго заданным тепловыделением, выполнение требований к надежности и безопасности СЭО — комплексное решение всех этих вопросов делает локализацию производства СРК одной из самых сложных и необычных задач для российской кабельной промышленности.

Производство саморегулирующихся кабелей налажено впервые в России на мощностях ОКБ «Гамма» (входит в Группу компаний «Специальные системы и технологии») в г. Ивантеевке Московской области. Для запуска промышленного производства проводящей матрицы для саморегулирующихся нагревательных кабелей ГК «ССТ» создала современную технологическую и испытательную базу, разработала рецептуру электропроводящих полимерных материалов для нагревательной матрицы и техно-

гию производства собственно саморегулирующихся кабелей.

Проект по 100%-й локализации производства саморегулирующихся кабелей — важнейший для российской индустрии электрообогрева. Он стартовал в 2013 году, до того, как импортозамещение стало приоритетным направлением государственной политики развития экономики и промышленности РФ.

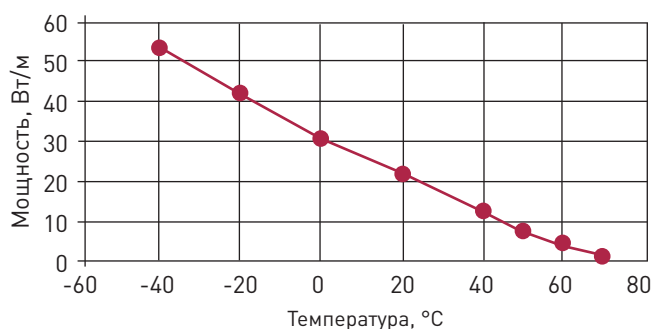
Первый этап проекта был реализован в 2016 году [1]. Запущено первое в стране серийное производство электропроводящих пластмасс и кабелей на их основе. В ходе реализации первого этапа проекта командой специалистов ГК «ССТ» и ОКБ «Гамма» были достигнуты следующие результаты [1]:

1. Разработан и оптимизирован состав электропроводящего полимерного компаунда для производства нагревательного СРК. Подобрано, закуплено и запущено в работу оборудование для изготовления компаунда. Изучено влияние технологических параметров при производстве компаунда на его электрическую проводимость. Освоен технологический процесс массового производства электропроводящего полимерного компаунда.

2. Изучено влияние технологических параметров при экструзии саморегулирующегося нагревательного элемента (матрицы). На основании результатов работ определена конфигурация экструзионной линии, позволяющей производить нагревательную матрицу. Закуплены и запущены в работу экструзионные линии. Освоен технологический процесс массового производства нагревательной матрицы.

3. Создана экспериментальная база для изучения свойств электропроводящего полимерного компаунда и нагревательного СРК. Разработаны критерии оценки качества СРК. Закуплено и изготовлено силами ГК «ССТ» лабораторное оборудование, которое позволяет проводить полномасштабные испытания кабеля на соответствие требованиям национальных и международных стандартов (ГОСТ Р МЭК 60079-30-1—2011, ГОСТ Р МЭК 60800—2012, CSA C22.2 N130-03 и так далее).

**Рисунок 2**  
**Зависимость мощности СРК от температуры окружающей среды**



4. Организован порядок непрерывного контроля качества кабеля и полуфабрикатов на всех стадиях их изготовления.

Одной из ключевых особенностей технологии производства саморегулирующихся кабелей являются жесткие требования к качеству исходного сырья, а также соблюдению технологических режимов производства. Даже незначительные изменения в составе исходного сырья или незначительные отклонения от заданных технологических режимов кардинально влияют на параметры готового продукта. Для исключения данных факторов специалистами ГК «ССТ» был решен ряд специфических задач, нетипичных для традиционного производства кабельно-проводниковой продукции. Для обеспечения мирового уровня качества саморегулирующихся кабелей в ОКБ «Гамма» разработан комплекс испытательного оборудования и методик контроля на всех этапах производства.

Компания планирует дальнейшее увеличение мощностей по производству отечественных саморегулирующихся кабелей. Реализация второй части инвестпроекта ОКБ «Гамма» проходит с участием Фонда развития промышленности при Минпромторге России. Компания получила льготный заем в декабре 2016 года. В 2017 году в рамках реализации постановления Правительства РФ от 25 мая 2017 года № 634 компания ГК «ССТ» получила субсидию из федерального бюджета в рамках программы господдержки. Саморегулирующиеся кабели производства ГК «ССТ» включены в отраслевой план по импортозамещению Минпромторга России (соответствие требованиям постановления Правительства РФ от 17 июля 2015 года № 719).

### Решение задач ТЭК

Надежность СЭО напрямую влияет на безопасную и непрерывную работу промышленных объектов не только в нефтегазовом комплексе, но и в других стратегических отраслях — энергетике, химической промышленности, авиации, иных важных как для промышленности, так и для обороноспособности страны сферах.

Основной объем потребляемых промышленными предприятиями СЭО приходится на системы на основе саморегулирующихся кабелей. Доля нефтегазового сектора в общем объеме потребления СРК составляет около 70% [1, 2].

На российском рынке помимо продукции ГК «ССТ» представлены кабели нескольких производителей из США и стран Евросоюза. Кроме того, в Россию ввозится продукция малоизвестных зарубежных производителей, которая не всегда соответствует критериям качества и надежности.

Применение СЭО российского производства позволяет исключить техногенные риски в стратегических отраслях и обеспечить:

- надежную работу промышленных объектов и предприятий нефтегазовой отрасли во всех климатических поясах, на суше, под землей и на море, независимо от времени года;
- возможность остановки производства и последующего штатного запуска его в работу;
- снижение аварийности и риска замены «замерзшего» оборудования;
- снижение энергоемкости производства по сравнению с другими методами обеспечения непрерывной эксплуатации.

Высокое качество продукции ГК «ССТ» подтверждено крупнейшими европейскими сертификационными центрами: VDE, SGS, Demko, NANIO CCVE. Единая система менеджмента качества компании сертифицирована на соответствие требованиям стандартов ISO 9001:2015 и ГОСТ ISO 9001-2015. Системы промышленного электрообогрева ГК «ССТ» соответствуют стандартам Международной электротехнической комиссии для взрывоопасных сред (IEC Ex). Саморегулирующиеся электрические нагревательные кабели имеют сертификат Европейского союза ATEX.

### Реализованные проекты СЭО на основе СРК

На протяжении многих лет ГК «ССТ» успешно сотрудничает с крупнейшими российскими и международными корпорациями, среди которых ПАО «Газпром», ПАО «ЛУКОЙЛ», ПАО «НК «Роснефть», ПАО АНК «Башнефть», ПАО «Татнефть», ПАО «Транснефть», АК «АЛРОСА», Total. Реализовано свыше 10 тыс. проектов промышленного электрообогрева. Совокупная протяженность трубопроводов, оснащенных СЭО компании, превышает 20 тыс. км.

Следует отметить, что СЭО на основе саморегулирующихся кабелей применяются на всех этапах переработки углеводородов: при добыче, транспортировке, перевалке, хранении, на НПЗ и заводах по производству СПГ.

В качестве примера ниже приведены описания нескольких проектов, реализованных специалистами ГК «ССТ» и входящей в ГК инжиниринговой компании «ССТЭнергомонтаж».

### Магистральный нефтепровод Куюмба – Тайшет

Цель постройки магистрального нефтепровода Куюмба – Тайшет — обеспечение приема в систему магистральных нефтепроводов ПАО «Транснефть» нефти Куюмбинского и Юрубчено-Тохомского месторождений. Трасса проходит по территориям Эвенкийского, Богучанского и Нижнеингашского районов Красноярского края и Тайшетского района Иркутской области. Протяженность нефтепровода — около 700 км, пропускная способность — до 15 млн т/г, давление — 75 атм.



Системы электрообогрева ГК «ССТ» обеспечивают защиту от замерзания и поддержание технологической температуры трубопроводов и резервуаров системы Куюмба – Тайшет. В работе компания всегда учитывает требования заказчика. Так, например, для водозабора на ГНПС № 1 протяженностью 9,5 км была разработана комбинированная система обогрева на основе скин-эффекта и саморегулирующихся кабелей. В общей сложности компания поставила более 28 км нагревательных кабелей (СРК и кабелей LLS).

### Месторождение им. В. Филановского

Месторождение им. В. Филановского является одним из крупнейших российских шельфовых месторождений. Его извлекаемые запасы составляют 129 млн т нефти и 30 млрд м<sup>3</sup> газа. Месторождение отличается уникальной геологией: высокая проницаемость коллекторов позволяет достигать рекордных начальных дебитов. Промышленная добыча на месторождении началась 31 октября 2016 года. Инфраструктура первой очереди обустройства месторождения включает райзерный блок, ледостойкую стационарную платформу, центральную технологическую платформу, платформу жилого модуля и головные береговые сооружения.

Компания ГК «ССТ» принимала участие в первой очереди обустройства платформы, обеспечив в качестве ЕРС-подрядчика проектирование, производство, поставку, монтаж и ввод в эксплуатацию систем электрообогрева. Ее саморегулирующиеся нагревательные кабели с фторполимерным покрытием обеспечивают защиту трубопроводов, резервуаров и другого оборудования от замерзания.

Компания «ССТЭнергомонтаж» (входит в ГК «ССТ») выполнила работы по устройству систем электрообогрева на трубопроводах бурового комплекса, топливных цистернах, оборудовании КИПиА, трубопроводах топливной системы, общесудовых и технологических систем. Общая длина саморегулирующихся нагревательных кабелей марок НТР, ВТС, ВТХ составила 15,5 км.

### Таманский нефтяной терминал

Комплекс общей мощностью 19,9 млн т/г был построен в южной части Таманского полуострова, он имеет выход к Черному морю. Терминал предназначен для перевалки сжиженных углеводородных газов, нефти и нефтепродуктов.

В рамках ЕРС-контракта ГК «ССТ» обеспечила проектирование, поставку, контроль и монтаж систем электрообогрева на Таманском перегрузочном терминале, в том числе взрывозащищенных электрических нагревателей Masterwatt («Мастерватт»), 140 шкафов управления, а также термоизоляции. Объем проектных работ оценивается в 11 000 рабочих часов.

### «ЛУКОЙЛ-Пермнефтеоргсинтез»

«ЛУКОЙЛ-Пермнефтеоргсинтез» – один из крупнейших и высокотехнологичных НПЗ России. Предприятие перерабатывает порядка 13 млн т/г нефти и производит широкий спектр высококачественных нефтепродуктов, из которых около 50% отгружается за рубеж.

«ЛУКОЙЛ-Пермнефтеоргсинтез» в 2012 году спроектировал установку замедленного коксования в рамках строительства комплекса переработки нефтяных остатков мощностью 2,1 млн т/г.

В августе 2015 года начались монтажные работы по оснащению установки замедленного коксования системами электрообогрева. В рамках комплексного договора специалисты ГК «ССТ» обеспечили проектирование, поставку оборудования, монтаж саморегулирующихся нагревательных кабелей и кабелей с минеральной изоляцией, монтаж теплоизоляции и пусконаладочные работы системы электрообогрева импульсных трубок и технологических трубопроводов установки замедленного коксования. Общая мощность системы электрообогрева – 424 кВт. На объект было поставлено 12,9 км саморегулирующихся нагревательных кабелей марок ВТХ, ВТС, НТР.

### Выводы

Саморегулирующиеся нагревательные кабели обладают рядом существенных преимуществ перед другими видами нагревательных элементов систем обогрева трубопроводов с точки зрения надежности, безопасности, энергоэффективности, снижения затрат на монтаж и эксплуатацию. Об этом убедительно свидетельствует опыт масштабной и успешной реализации систем электрообогрева на основе СРК на предприятиях нефтегазового комплекса. Запуск полного цикла производства саморегулирующихся нагревательных кабелей позволит решить проблему импортозамещения в сфере систем электрообогрева трубопроводов.

Переход российской промышленности на отечественные системы электрического обогрева исключит технологическую зависимость от зарубежных поставщиков и повысит уровень безопасности предприятий нефтегазового комплекса. 💧

### Литература

1. М.Л. Струпинский. Саморегулирующиеся кабели отечественного производства – ключевой элемент систем электрообогрева в нефтегазовом комплексе // Наука и техника, № 3 (364), 2017.
2. М.Л. Струпинский. Саморегулирующиеся кабели отечественного производства – ключевой элемент систем электрообогрева в нефтегазовом комплексе // Промышленный электрообогрев и электроотопление, № 2, 2016.
3. М.Л. Струпинский, Н.Н. Хренков, А.Б. Кувалдин. Проектирование и эксплуатация систем электрического обогрева в нефтегазовой отрасли. – М.: Инфра-Инженерия, 2015.

ПРИ УЧАСТИИ



ПРИ ПОДДЕРЖКЕ



2-5  
ОКТАБРЯ  
2018

# VIII ПЕТЕРБУРГСКИЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ ГАЗОВЫЙ ФОРУМ

ПРИЗНАННАЯ ПЛОЩАДКА  
ДЛЯ ДИСКУССИИ О РАЗВИТИИ  
МИРОВОЙ ГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

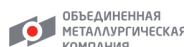
ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ПАРТНЁР



ГЕНЕРАЛЬНЫЙ СПОНСОР



ПАРТНЁРЫ



[GAS-FORUM.RU](http://GAS-FORUM.RU)

КОНГРЕССНО-ВЫСТАВОЧНЫЙ ЦЕНТР  
**ЭКСПОФОРУМ**

+7 (812) 240 40 40  
(доб. 2168, 2122)  
[gf@expoforum.ru](mailto:gf@expoforum.ru)