

Система электрообогрева бетонных резервуаров для хранения СПГ в проекте «Арктик СПГ-2»



В статье представлен опыт проектирования и реализации систем электрообогрева компании «Термо Нова». Специально для «Арктик СПГ-2» были разработаны и установлены системы обогрева резервуаров хранения СПГ на основе электрических нагревательных кабелей параллельного сопротивления постоянной мощности и оптоволоконных линейных датчиков, выполнено конечно-элементное моделирование для четырех режимов эксплуатации. В статье приведено описание силового и управляющего оборудования, а также особенности монтажа в условиях блочно-модульного исполнения. Реализованные решения не имеют мировых аналогов.

ООО «Термо-Нова», г. Москва

«Арктик СПГ-2» – это крупнотоннажный проект на Утреннем месторождении (Гыданский полуостров Ямало-Ненецкого автономного округа) известной газодобывающей компании «НОВАТЭК». В строительстве уникального объекта участвовало более 100 российских производителей. Специально для проекта ими созданы уникальные технологии и продукты. В их числе – системы электрообогрева.

Задача поддержания термостабильности бетонных резервуаров

Завод по производству сжиженного природного газа «Арктик СПГ-2» представляет собой три технологические линии на основаниях гравитационного типа (ОГТ) общей мощностью 19,8 млн тонн в год. Внутреннее пространство ОГТ представляет собой резервуары для хранения сжиженного природного газа и газового конденсата – бетонные конструкции с многослойной изоляцией. Температура продукта в резервуаре СПГ – около -163°C . Продукт не контактирует с бетонной стеной напрямую;

между ними находится несколько слоев теплоизоляции из различных материалов и первичный барьер из нержавеющей стали (мембрана с ребрами жесткости). Но при этом необходимо постоянное поддержание температуры на границе «бетон – изоляция» для предотвращения деградации бетона (вплоть до разрушения):

- для всех стен и основания резервуара – не ниже $+3^{\circ}\text{C}$;
- для верхней плиты – не ниже -25°C .

Эта задача была выполнена с помощью систем обогрева на основе электрических нагревательных кабелей «Термо Нова» (до 2024 года – «Термон Евразия»).

Конечно-элементное моделирование

Безопасное хранение готовой продукции – СПГ – напрямую зависит от качественно выполненного проектирования и исполнения термоизоляционных слоев. В связи с этим конструктивное исполнение резервуаров потребовало применения анализа методом конечных элементов (future element concept analysis, FEA-анализ) для обоснова-

ния работоспособности системы электрообогрева. И если типовые расчеты теплотерь, например, трубопровода можно достаточно просто рассчитать по известным формулам, то для резервуаров «Арктик СПГ-2» необходимо было учитывать все слои «пирога» изоляционных материалов и факторы воздействия как с внешней стороны (окружающей среды), так и с внутренней стороны (отрицательные температуры продукта).

Помимо этого, проектом предусматривался расчет системы в четырех режимах эксплуатации (рис. 1–4):

▸ **нормальные условия** – полная работа системы обогрева; температура бетона поддерживается в заданных пределах;

▸ **отключение 50% электрообогрева**. Расчет показал, что оставшейся мощности достаточно для поддержания требуемой температуры;

▸ **нормальные условия с отказом первичного барьера**. Система обогрева компенсирует дополнительные теплотери;

▸ **охлаждение после нормальных условий**. Моделирование показало,

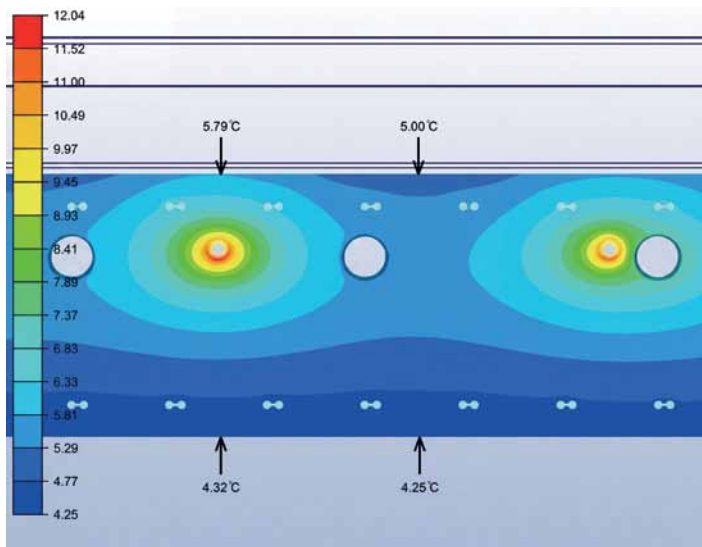


Рис. 1. Температурный профиль для нормальных условий эксплуатации

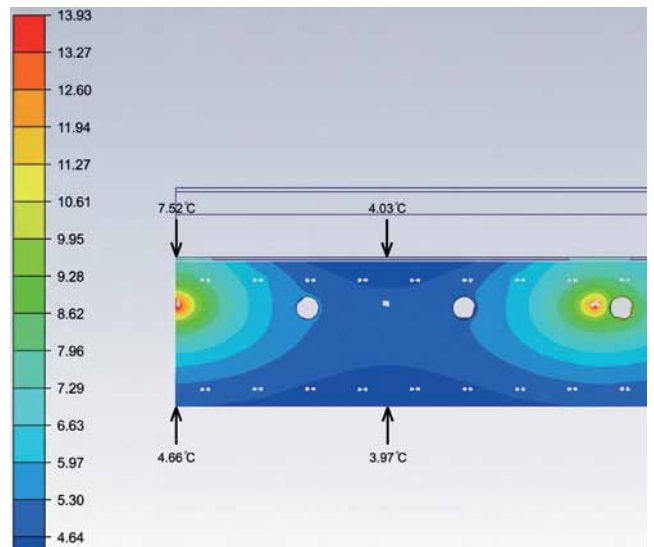


Рис. 2. Температурный профиль для условий с отключением половины электрообогрева

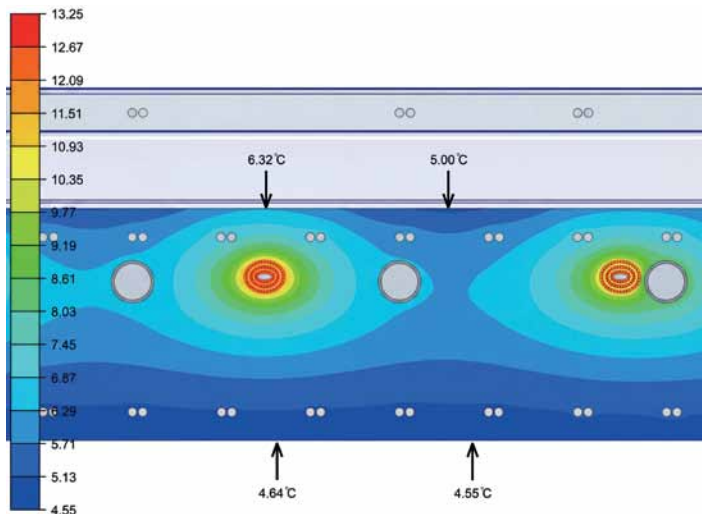


Рис. 3. Температурный профиль для нормальных условий эксплуатации с отказом первичного барьера

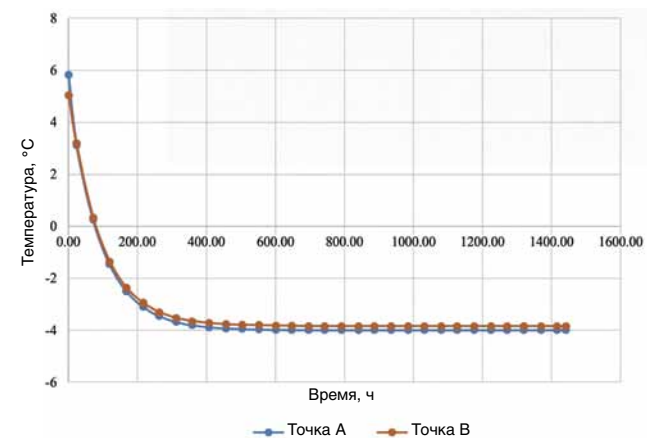


Рис. 4. Охлаждение после нормальных условий эксплуатации

что при полном отключении обогрева остывание бетона от $+5$ до -5 °C занимает 300–400 часов за счет тепловой инерции и изоляции.

Архитектура системы распределенного обогрева с шагом контроля 1 м

Как следует из сказанного, контроль температуры бетонной плиты — критически важная задача для проекта. Инженеры компании предложили использовать распределенные датчики температуры на основе волоконно-оптического кабеля вместо точечных датчиков. Такое решение позволило отслеживать любые температурные изменения, фиксировать возможные утечки СПГ.

Согласно проекту, каркас резервуаров был залит бетоном с предвари-



Рис. 5. Распределенный датчик температуры и нагревательный кабель в трубках: фото с объекта

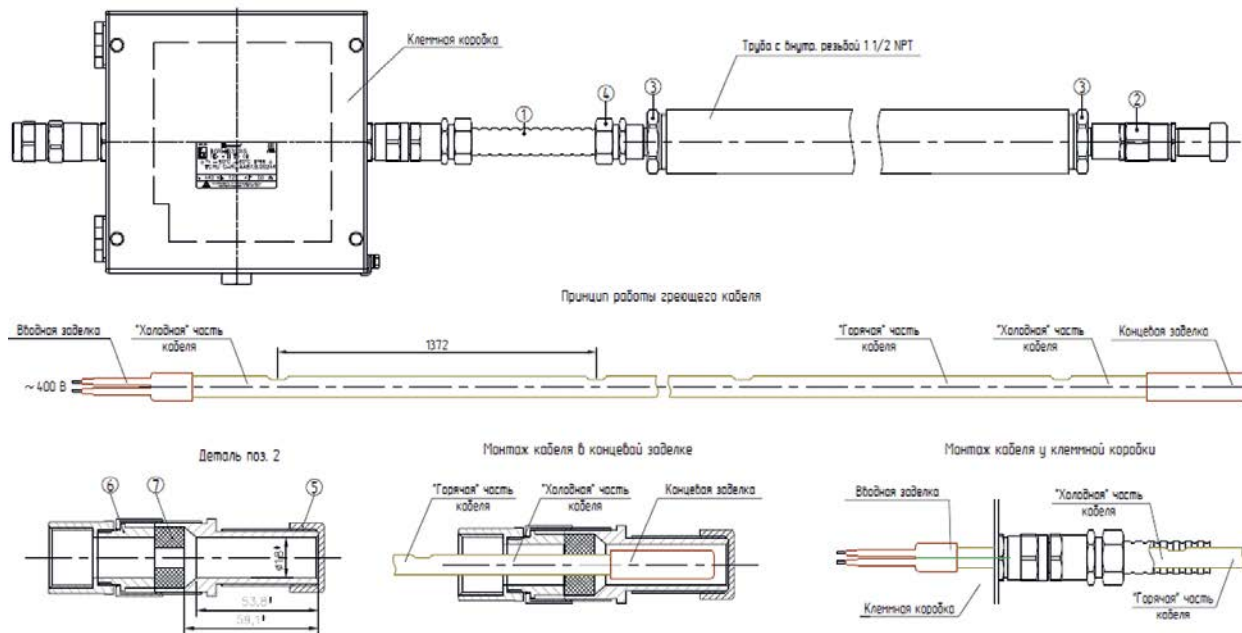


Рис. 6. Пример чертежа установки нагревательного кабеля, где 1 – металлорукав; 2 – кабельный элемент для заделки нагревательного кабеля; 3 – переходник; 4 – фитинг с внутренней резьбой для присоединения металлорукава; 5 – заглушка с внутренней резьбой M25 x 1,5; 6 – кабельный ввод для небронированного кабеля; 7 – уплотнение под нагревательный кабель

тельно установленными стальными трубками. В одну часть трубок был смонтирован нагревательный кабель параллельного сопротивления постоянной мощности (после локализации – «Контур-ПР») с удельной выходной мощностью 41 Вт/м при номинальном напряжении 400 В переменного тока. В другую часть был протянут волоконно-оптический кабель для измерения температуры бетона с дискретностью 1 метр и передачи информации (рис. 5). Для снятия показаний применялись контроллеры российского производства, специально

предназначенные для этой технологии измерений и имеющие сертификат низковольтного оборудования.

Для протяжки использовались тросы-лидеры, кабельные чулки и компенсаторы вращения – знако-

мые кабельщикам приспособления. А вот к особенностям монтажа можно отнести отсутствие фиксации кабеля внутри трубок. Для проекта был разработан специальный кабельный ввод, который позволял зафиксировать на-

Таблица 1. Характеристики распределительной панели электрообогрева

Параметр	Значение
Номинал вводных выключателей, А	2500
Полная мощность, кВт	1500
Количество отходящих линий, шт.	106
Вспомогательное напряжение питания, В пост. тока	110



Рис. 7. Распределительная панель электрообогрева

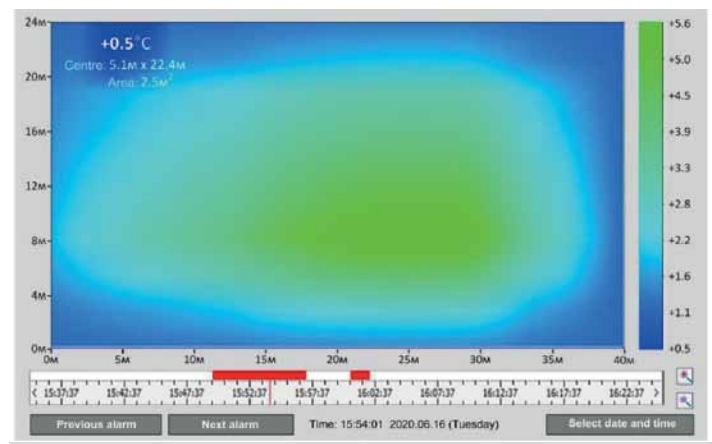
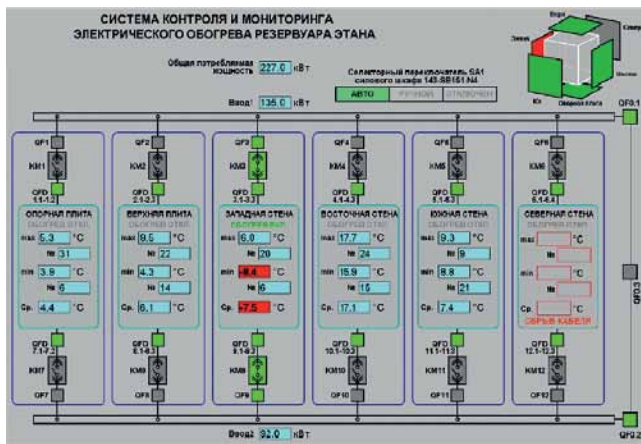


Рис. 8. Панель визуализации: варианты отображения информации

гревательный кабель на выходе и обеспечить таким образом механическую защиту концевой заделки нагревательного кабеля (рис. 6).

В местах подключения нагревательного кабеля использованы взрывозащищенные коробки из нержавеющей стали. Сложнее было реализовать защиту оптоволоконного кабеля, потому что он каждый раз переходил из одной трубки в другую. Сразу установить на него защиту было невозможно, только после протяжки. Поэтому была использована специальная гофрированная труба с продольным замком и специальными кабельными вводами.

Подсистема питания и управления

В рамках проекта для каждой платформы были поставлены два шкафа управления.

Шкаф управления принимает данные от распределенных датчиков температуры, анализирует, генерирует сигнал на включение/выключение, который передает в распределительную панель электрообогрева (рис. 7) длиной более 11 метров. Характеристики распределительной панели указаны в табл. 1. От одной такой панели запитаны нагревательные кабели одного резервуара. При понижении температуры в какой-либо точке резервуара система дает управляющий сигнал на включение контакторов си-

ловых цепей, расположенных в распределительной панели электрообогрева, что приводит к включению обогрева на указанном участке.

Связь распределительной панели электрообогрева с СУРЭ осуществляется по промышленному протоколу МЭК 61850, что является еще одной особенностью проекта, поскольку в типовых проектах электрообогрева для передачи данных используются протоколы Modbus RTU или Modbus TCP/IP.

Шкаф управления оснащен панелью визуализации (рис. 8), которая отображает текущую максимальную и минимальную температуры по каждой стене, номер трубки с этой температурой, состояние линий, контакторов и выключателей. Данные могут отображаться в формате термограммы – в виде точек разного цвета, аппроксимированных на единой плоскости и позволяющих видеть, как меняется температура в разных частях резервуара. Также данные из шкафа управления передаются в вышестоящую систему.

Заключение

Проект, реализованный для СПГ-объекта в Арктике, занял более двух лет. Первая платформа, о которой рассказано в статье, была запущена в декабре 2023 года. Вторая платформа – в мае 2025 года. Третья находит-

ся в работе. Таких проектов в мире не осуществляли, поэтому инженерам пришлось разрабатывать не только общую концепцию, но и оригинальные решения для разных этапов, включая особенности монтажа кабеля и сам нагревательный кабель. Например, специальное исполнение нагревательного кабеля параллельного сопротивления «Контур-ПП» с выходной мощностью 41 Вт/м при напряжении 400 В прошло сертификацию и позже было запущено в серию.

В заключение отметим, что обогрев бетонных конструкций – только часть проекта, выполненного «Термо Нова» на данном объекте. Всего на «Арктик СПГ-2» компания поставила около 590 км нагревательных кабелей (саморегулирующихся, предельной мощности, постоянной мощности), а также секции на основе нагревательных кабелей с минеральной изоляцией, решив задачу не только обогрева бетонных резервуаров, но и защиты от замерзания технологических трубопроводов.

ООО «Термо-Нова», г. Москва,
тел.: +7 (495) 411-7038,
эл. почта: inbox@thermo-nova.ru,
сайт: thermo-nova.ru

Иллюстрации предоставлены
ООО «Термо-Нова»