ГРУППА КОМПАНИЙ
«СПЕЦИАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ
И ТЕХНОЛОГИИ»

Особенности систем обогрева стальных и пластиковых трубопроводов саморегулирующимися кабелями

Н.Н. Хренков – Советник генерального директора, к.т.н. чл.-корр. АЭН РФ

Рассматриваемая проблема

1. Расширяется применение пластиковых трубопроводов, в основном из полиэтилена (ПЭ), для транспортировки воды, газов и других жидкостей.

2. Преимущества полиэтиленовых труб заключаются в высокой коррозионной и химической стойкости, гибкости в сочетании с прочностью, долговечностью и малой удельной массой.

3. Полимерные трубы, с точки зрения теплотехники, отличаются от металлических, низкой теплопроводностью.

4. Рассмотрим, как данное свойство полимерных труб влияет на тепловые режимы и построение систем кабельного электрообогрева саморегулирующимися кабелями.

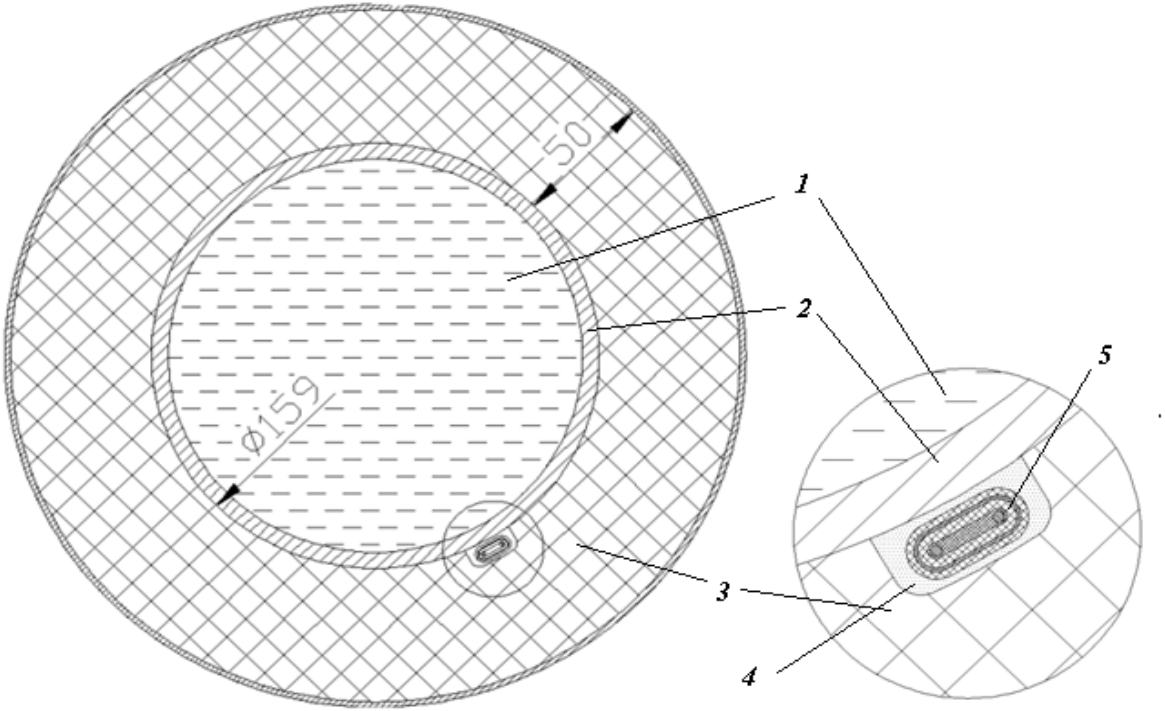


Схема трубопровода, обогреваемого саморегулирующимся кабелем:
1- перекачиваемый продукт (вода); 2 – обогреваемая труба; 3 – тепловая изоляция; 4- воздушный зазор около кабеля; 5 – нагревательный кабель.

Три вида режимов обогрева

1. По трубопроводу прокачивается жидкость (вода), температура которой на входе в трубопровод известна. Система обогрева поддерживает эту температуру по всей длине трубы.
2. Трубопровод заполнен жидкостью, но она не прокачивается. Система обогрева включена.
3. Трубопровод пустой (заполнен воздухом), система обогрева включена.

Примечание: во всех трех режимах отсутствует управление системой

Методы исследования

1. Моделирование процесса распространения тепла в стационарном и нестационарном режиме методом конечных элементов с помощью программного комплекса **ELCUT** (Quick Field)
2. Алгоритмические расчеты режимов поддержания температуры и разогрева остановленного потока
3. Расчеты свойств воды и воздуха с учетом температурного режима работы трубопровода.
4. Анализ результатов моделирования и расчетов

Особенности построения моделей

Общие: Т окружающего воздуха -40 или 0°С; вода поступает с Т = 8°С; теплоотдача в воздух α = 30 Вт/м^2·К; кабель 33НТР2-ВТ – расчетная мощность матрицы 48,2 Вт/м при 10°С и 27.3 Вт/м при 40°С.

1 режим: турбулентный поток воды с Т = 8°С; коэффициент теплоотдачи в трубу 200 Вт/м^2·К; приведенная теплопроводность воды λ = 6,8 Вт/м·К.

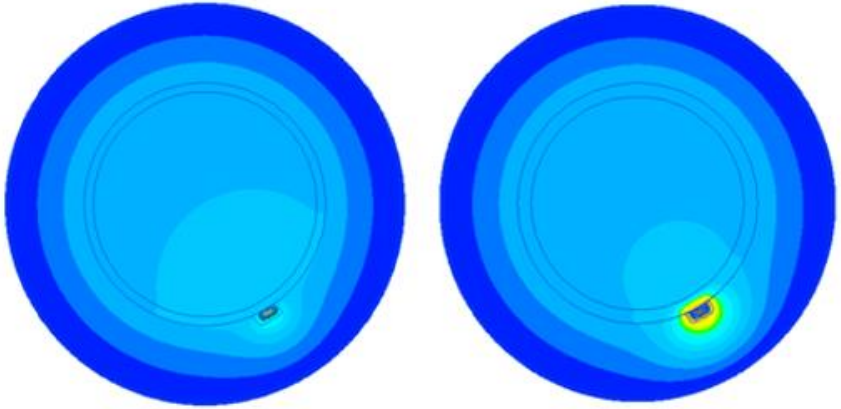
2 режим: трубы заполнены водой, но нет потока; приведенная теплопроводность воды λ = 8 -10 Вт/м·К.

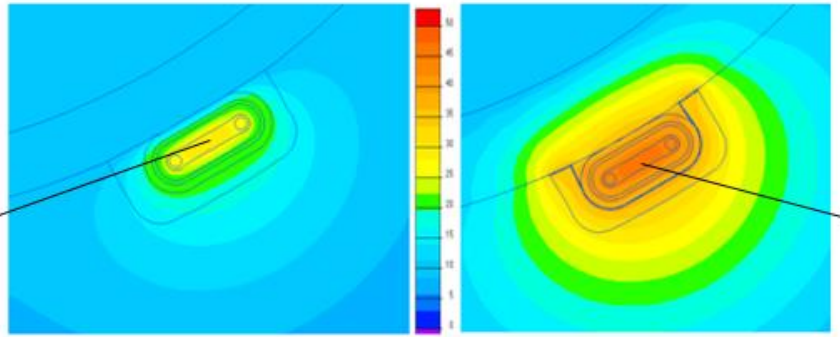
3 режим: трубы заполнены воздухом, приведенная теплопроводность воздуха λ = 0,17 - 0,28 Вт/м·К

1. Результат моделирования – поток воды

Слева –стальная труба; справа - полиэтиленовая

Т воды = 8°С
λ воды = 6,8 Вт/мК
α = 200 Вт/м^{2}К
Т возд = 0°С



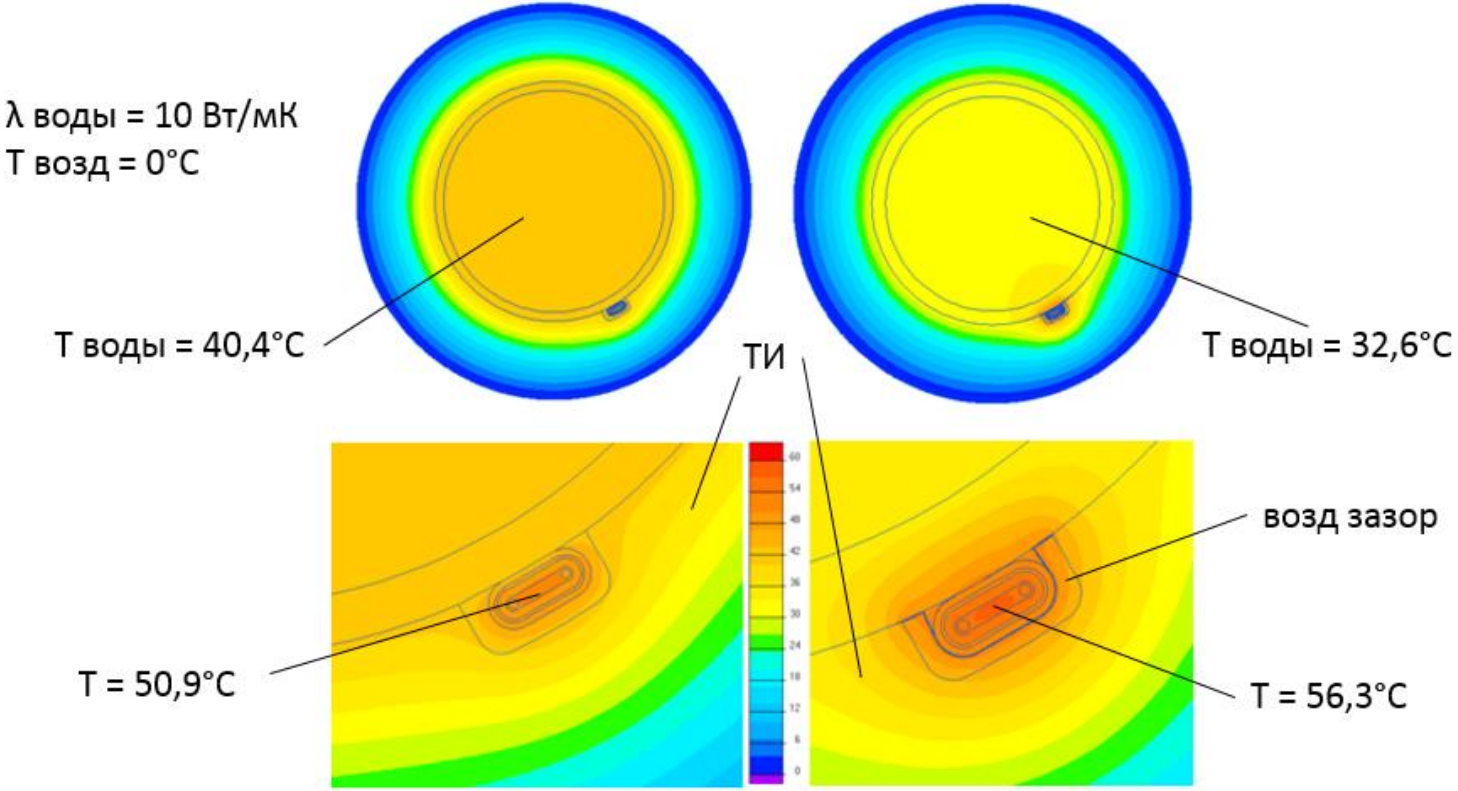


1. Результат моделирования – поток воды

Показатель	***Стальная труба***		***Пластиковая труба***	
Температура окружающего воздуха, °С	***-40***	***0***	***-40***	***0***
Случай 1: *по трубопроводам течет вода; α = 200 Вт/м²·К*				
Температура текущей воды, °С	+ 8	+8	+ 8	+8
Мощность кабеля, Вт/м	34,5	34,3	23,8	23,2
Температура матрицы средняя, °С	27,5	27,9	43,5	43,2
Средняя температура оболочки кабеля, °С	18,4	18,9	37,5	38,5
Температура трубы в точке контакта, °С	9,7	9,9	35,8	36,6
Средняя температура трубы, °С	8,13	8,3	8,05	8,9
Термич. сопротивление матрица-вода, м·К/Вт	0,65	0,60	1,73	1,71
dT в трубе в зоне контакта, °С	0,25	0,30	26,4	27,0

2. Результат моделирования – нет потока

Слева –стальная труба; справа – полиэтиленовая



2. Результат моделирования – нет потока

Показатель	*Стальная труба*		*Пластиковая труба*	
Температура окружающего воздуха, °С	*-40*	*0*	*-40*	*0*
Случай 2; *трубопроводы заполнены водой, но нет потока.*				
$\lambda_{эф}$ воды, Вт/м·К	10,0		8,0	
Мощность кабеля, Вт/м	28,4	18,9	23,2	15,4
Температура матрицы средняя, °С	36,8	50,9	44,7	56,3
Средняя температура оболочки кабеля, °С	29,3	46,1	38,5	52,2
Температура трубы в точке контакта, °С	22,3	41,5	36,9	51,1
Средняя температура трубы, °С	20,7	40,4	9,1	32,6
Термич. сопротивление матрица-труба, м·К/Вт	0,64	0,61	1,8	1,73
dT в трубе в зоне контакта, °С	0,2	0,2	25,6	17,0

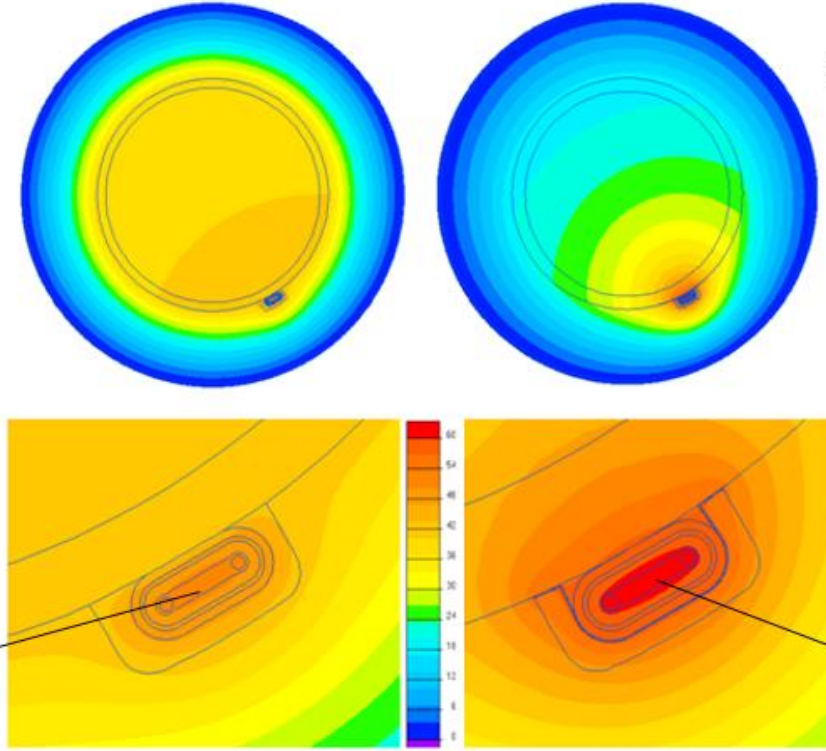
3. Результат моделирования – пустая труба

Слева –стальная труба; справа – полиэтиленовая

λ возд = 0,17 Вт/мК

λ возд = 0,28 Вт/мК

Т окр. возд = 0°С



Т = 51,6°С

Т = 61,4°С

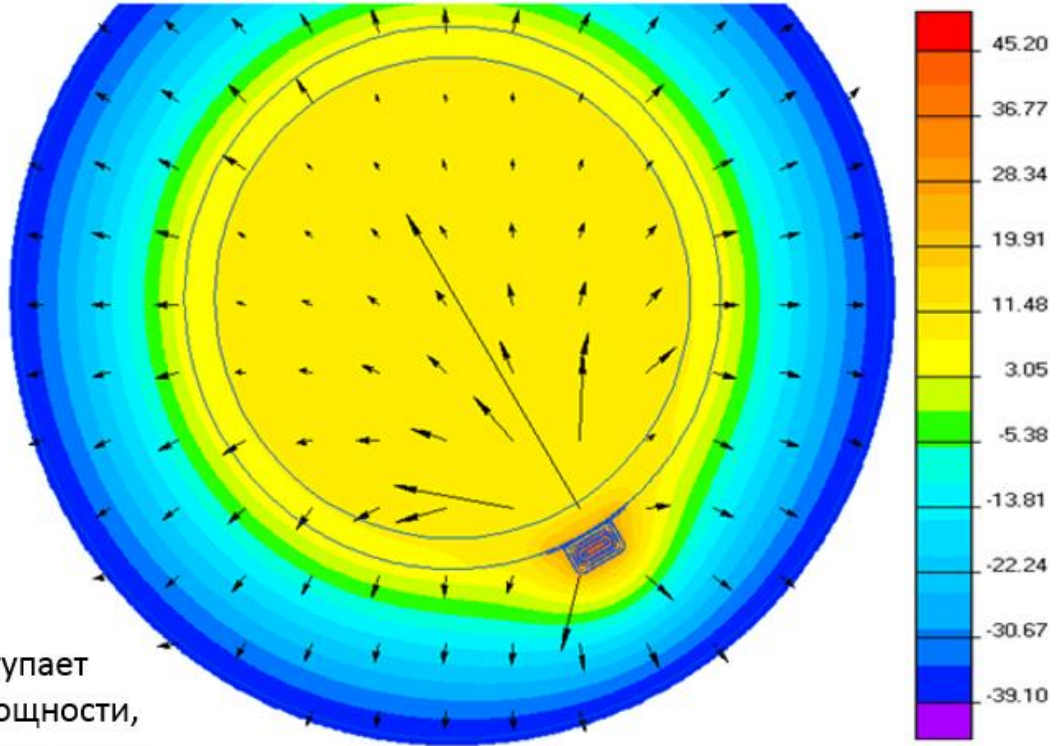
3. Результаты моделирования – пустая труба

Показатель	*Стальная труба*		*Пластиковая труба*	
Температура окружающего воздуха, °С	*-40*	*0*	*-40*	*0*
Случай 3: *трубопроводы заполнены воздухом.*				
$\lambda_{эф}$ воздуха, Вт/м·К	0,17		0,28	
Мощность кабеля, Вт/м	27,8	18,5	18,1	12,0
Температура матрицы средняя, °С	37,6	51,6	52,4	61,4
Средняя температура оболочки кабеля, °С	30,3	46,7	47,6	58,2
Температура трубы в точке контакта, °С	23,5	42,2	46,6	57,6
Средняя температура трубы, °С	19,5	39,6	- 2	25,2
Термич. сопротивление матрица-труба, м·К/Вт	0,64	0,63	1,64	1,55
dT в трубе в зоне контакта, °С	0,2	0,12	15,6	10,1

Общие результаты моделирования

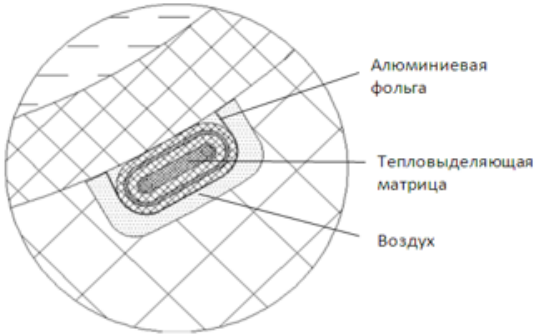
Показатель	*Поток воды*		*Нет потока*		*Пустая труба*	
Температура окружающего воздуха, °С	*-40*	*0*	*-40*	*0*	*-40*	*0*
Мощность кабеля на стальной трубе, Вт/м	35,6	34,3	28,4	18,9	27,8	18,5
Мощность кабеля на полимерной трубе, Вт/м	24,8	23,2	23,3	15,4	18,1	12,0
Уменьшение мощности на полимерной трубе, %	30	32	18	18	35	35

Распределение тепловых потоков



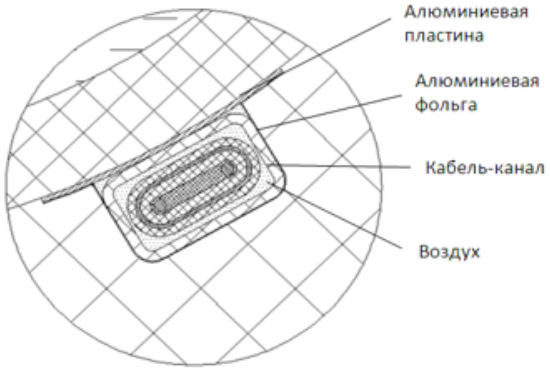
В жидкость поступает
не более 85% мощности,
выделяемой нагревателем

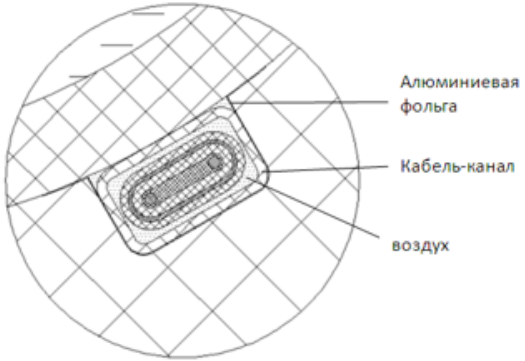
Методы прокладки кабеля



1. Монтаж кабеля непосредственно на трубу с последующей установкой ТИ

2. Труба в заводской изоляции из ППУ
Кабель прокладывается в молдинге





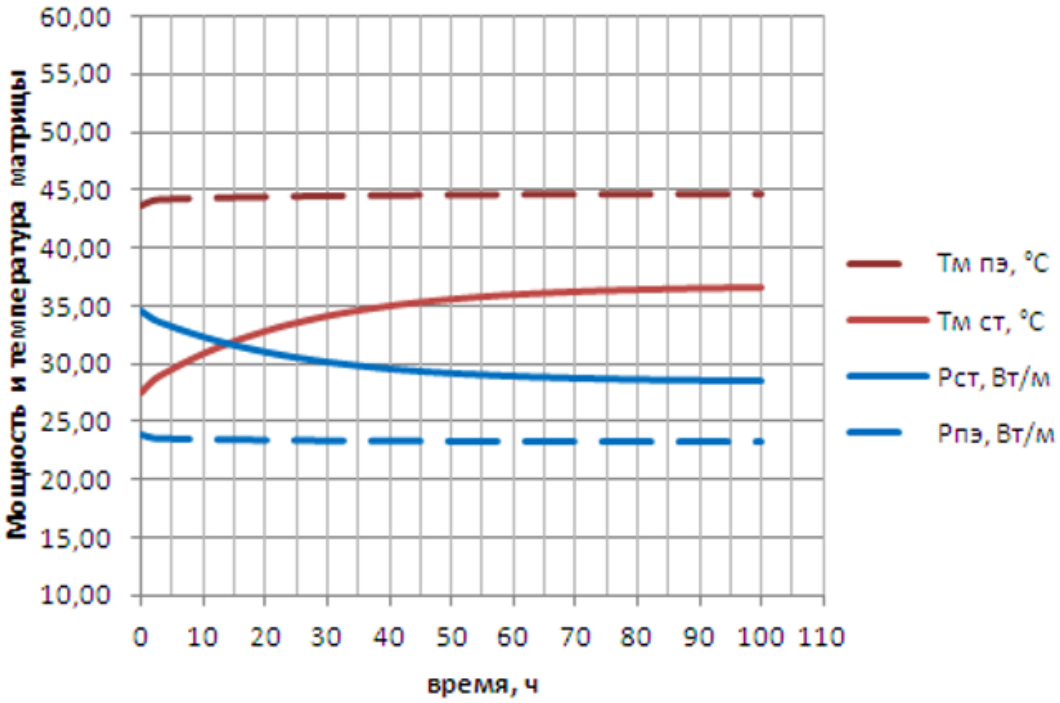
3. Труба в заводской изоляции из ППУ
Кабель прокладывается в молдинге, под которым проложена Al пластина

Влияние метода прокладки кабеля

Показатель	***Пластиковая труба***		
Случай 2; *трубопроводы заполнены водой, но нет потока.*			
Метод прокладки кабеля	***1***	***2***	***3***
$\lambda_{эф}$ воды, Вт/м·К	8,0	6,8	6,8
Мощность кабеля, Вт/м	15,4	14,7	14,8
Температура матрицы средняя, °С	56,3	57,2	57,2
Средняя температура оболочки кабеля, °С	52,2	53,5	53,3
Температура трубы в точке контакта, °С	51,1	45,6	43,7
Средняя температура трубы, °С	32,6	30,6	30,8
Термич. сопротивление матрица-труба, м·К/Вт	1,73	2,1	2,08
dT в трубе в зоне контакта, °С	17,0	13,5	11,4

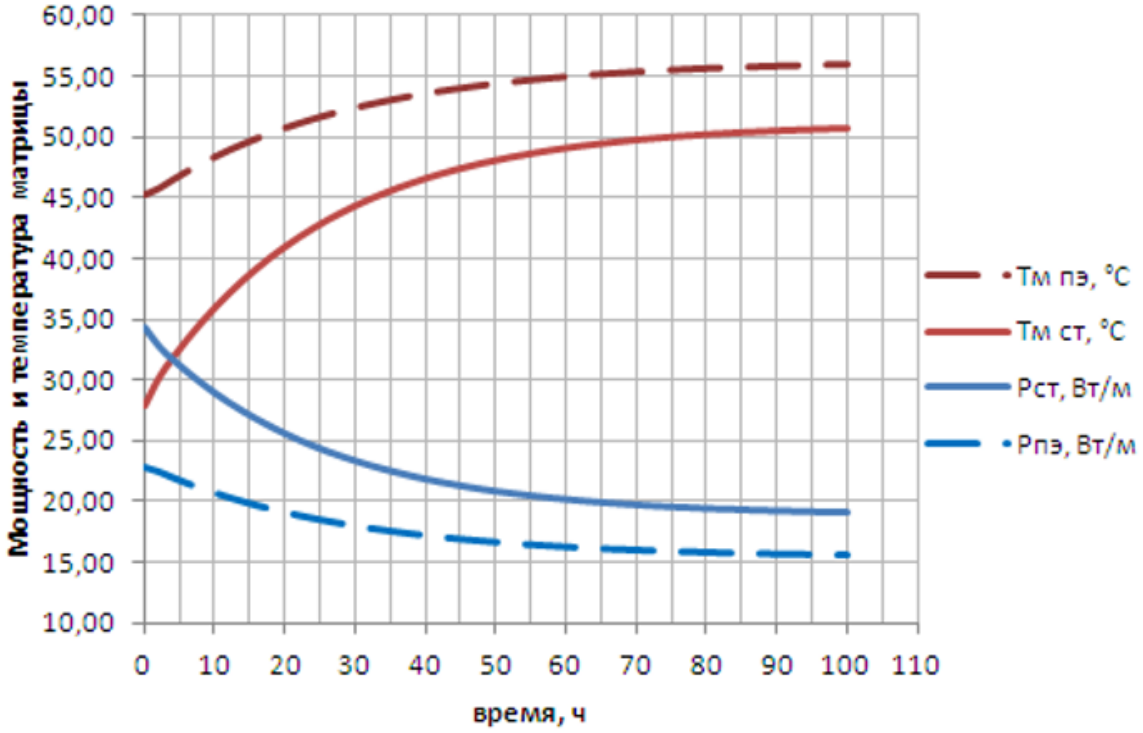
Исследование процессов разогрева при остановке потока, Тос = - 40°С

Сплошные линии – сталь; пунктир - полиэтилен



Исследование процессов разогрева при остановке потока, Тос = 0°С

Сплошные линии – сталь; пунктир - полиэтилен



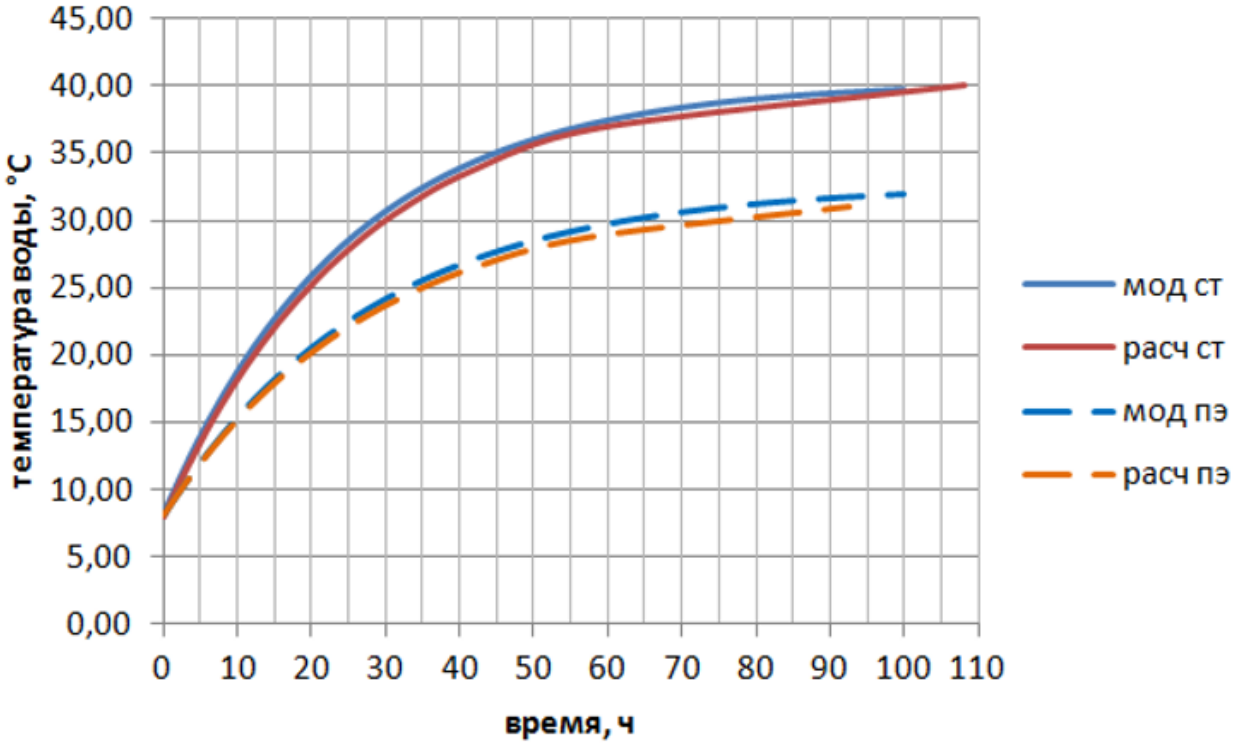
Сравнение результатов моделирования и аналитических расчетов

$$\tau = \ln\left(\frac{P_l - \left(T_{нач} - T_{ос}\right)/R_t}{P_l - \left(T_{кон} - T_{ос}\right)/R_t}\right) \cdot \left(M_{ж} \cdot C_{рж} + M_{т} \cdot C_{рт} + \frac{1}{2} M_{и} \cdot C_{ри}\right) \cdot R_t$$

Формула для расчета времени разогрева (остывания) обогреваемого трубопровода.

Использовалась в аналитических расчетах с учетом зависимости мощности кабеля от температуры *Pl = f (T)*

Процесс разогрева стального и ПЭ трубопроводов при Тос = 0°С



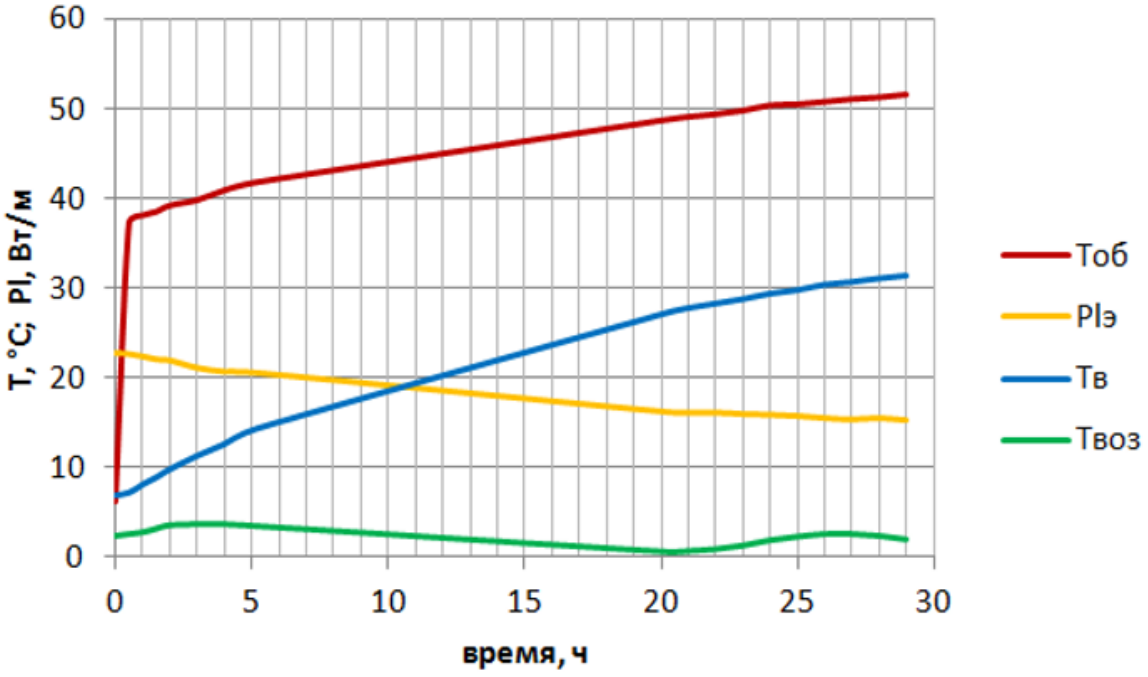
Экспериментальная проверка

Внешний вид полиэтиленовых труб в ППУ изоляции

Условия эксперимента

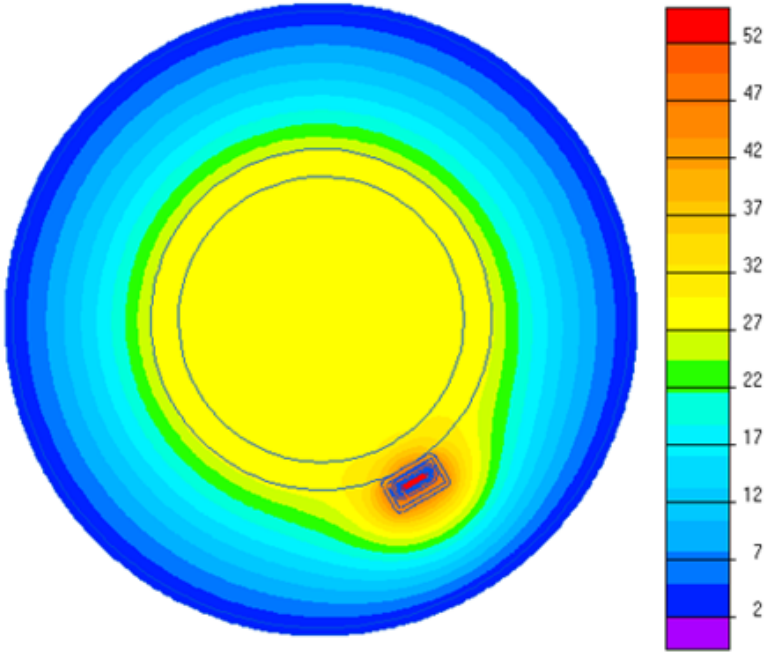
Характеристика	размерн.	значение
Диаметр ПЭ трубы	мм	110
Толщина стенки трубы	мм	8,5
Толщина теплоизоляции	мм	45
Коэффициент теплопроводности теплоизоляции	Вт/м·К	0,03
Наружный диаметр по кожуху	мм	205
Нагревательный кабель проложен в кабель-канале		25HTP2-BT
Номинальная мощность кабеля при 10°С	Вт/м	25
Начальная температура воды	°С	8,0
Средняя температура воздуха	°С	2,4
Коэффициент теплоотдачи с поверхности	Вт/ м^2·К	30

Экспериментальные результаты



Разогрев ПЭ трубы *Ф* = 110 мм, заполненной водой с Т = 8ºС
Кабель 25НТР2-ВТ; Т возд ср = 2,4°С

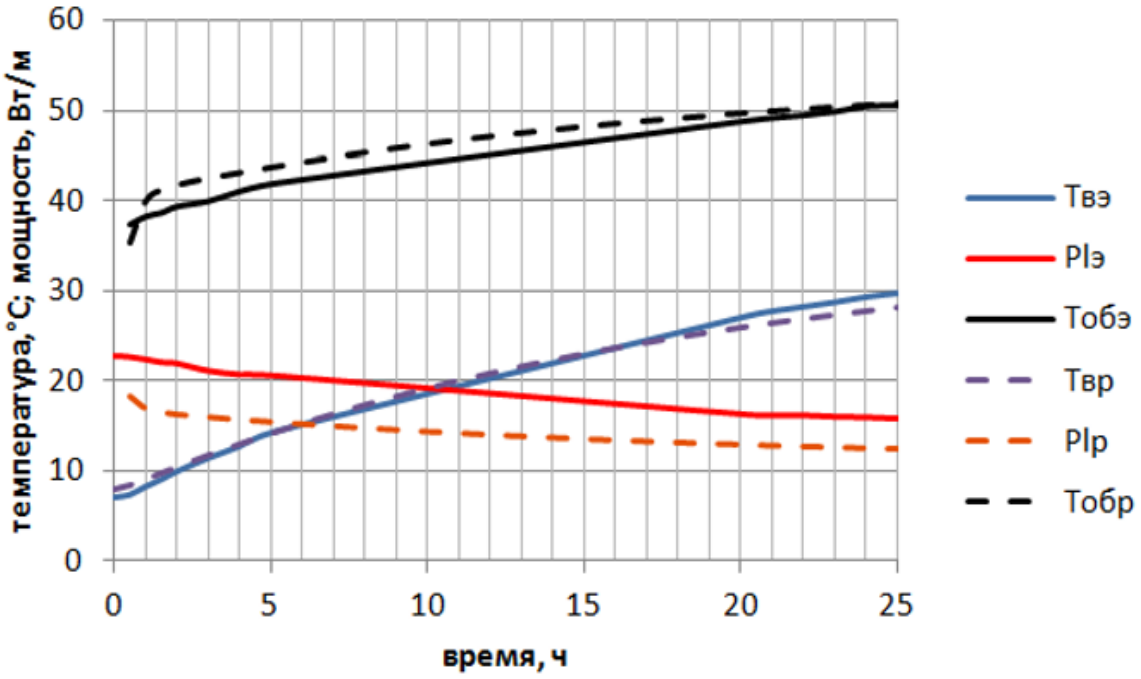
Проверка эксперимента на модели



Карта температурного поля в ПЭ предварительно изолированном трубопроводе *Ф* 110 мм, через 25 часов от старта. Обогрев кабелем 25HTP2-BT,

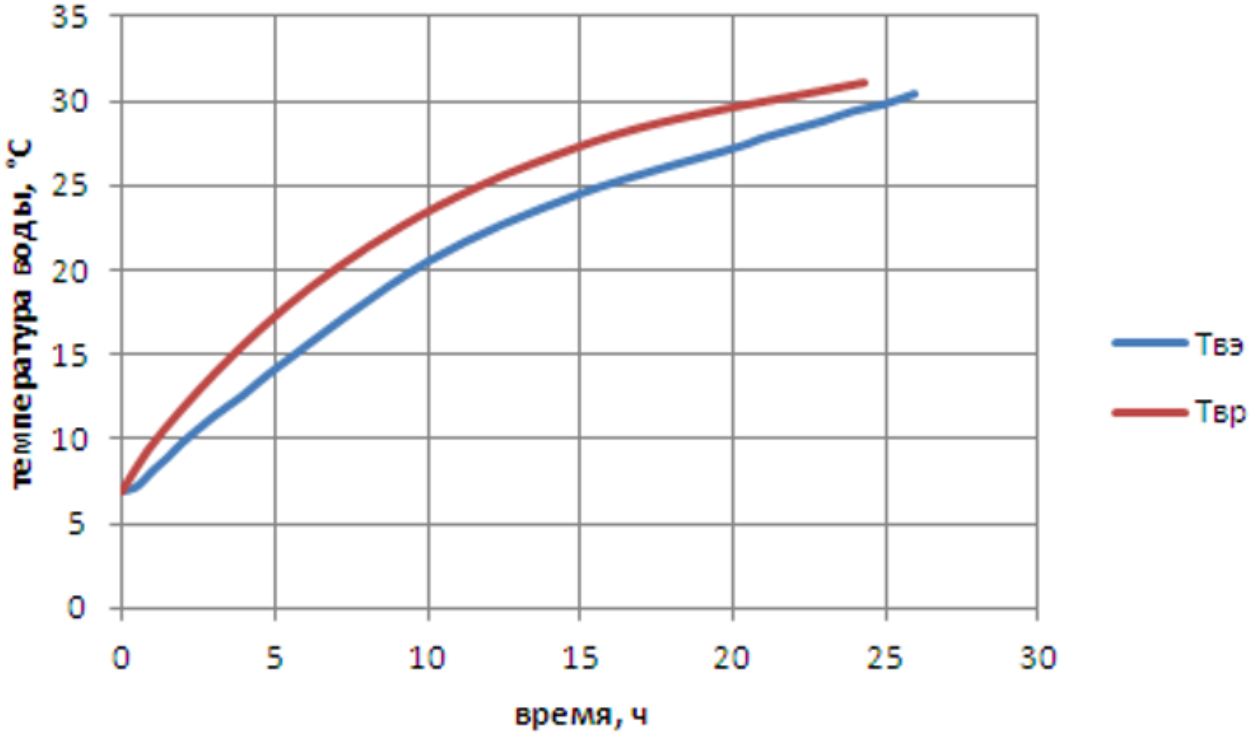
Начальная температура воды 8°С, температура воздуха 2.4°С

Эксперимент и моделирование разогрева



Сплошные линии – эксперимент; пунктирные - расчет на модели. Твоз = 2.4°С.

Эксперимент и аналитический расчет разогрева



Сопоставление кривых разогрева воды: синяя – экспериментальная; красная – рассчитанная аналитически. Твоз = 2,4°С.

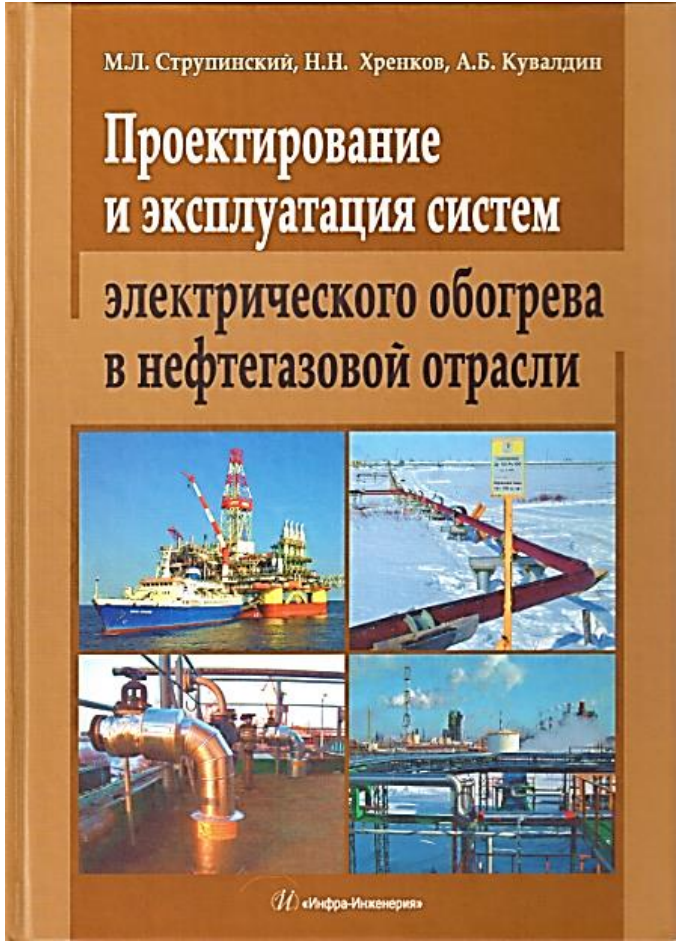
Заключение

1. Методы проектирования систем обогрева металлических трубопроводов могут служить базой при проектировании систем обогрева пластиковых трубопроводов
2. При этом следует учитывать увеличенное термическое сопротивление на пути теплового потока от нагревателя к обогреваемому объекту и, как следствие, более сильный разогрев и большее снижение мощности саморегулирующихся кабелей.
3. Проектируя системы обогрева пластиковых трубопроводов особое внимание следует уделить технологическому циклу функционирования трубопроводов. Если ожидаются длительные остановки прокачки жидкости, то необходимо провести расчет возможной потери мощности саморегулирующимся кабелем и принять меры, обеспечивающие улучшение теплопередачи от кабеля к трубе.

Заключение

4. В период остановки прокачки жидкости по пластиковому трубопроводу должен быть усилен контроль за температурным режимом. При опустошении пластикового трубопровода следует отключить систему обогрева и в обязательном порядке контролировать температуру нагревательного элемента.

5. Аналитические методы расчета дают удовлетворительные результаты, но в ответственных случаях следует использовать моделирование режимов работы систем обогрева



Впервые в истории современной России издана книга, суммирующая и систематизирующая результаты исследований, методов проектирования и монтажа систем электрического обогрева в нефтегазовой отрасли.
Книга содержит практические рекомендации, основанные на опыте ГК «ССТ», крупнейшего российского производителя всего комплекса оборудования для систем электрообогрева.

Книга вышла из печати в феврале 2015,

В книге приведен ряд примеров использования ELCUT для моделирования тепловых полей

Содержание и структура книги

Глава 1. Электрообогрев в нефтегазовой отрасли.

Глава 2. Теплопередача при низкотемпературном обогреве.

Глава 3. Расчет мощности и тепловых режимов систем обогрева.

Глава 4. Конструкции и характеристики нагревательных кабельных изделий.

Глава 5. Системы электрообогрева на основе нагревательных кабелей.

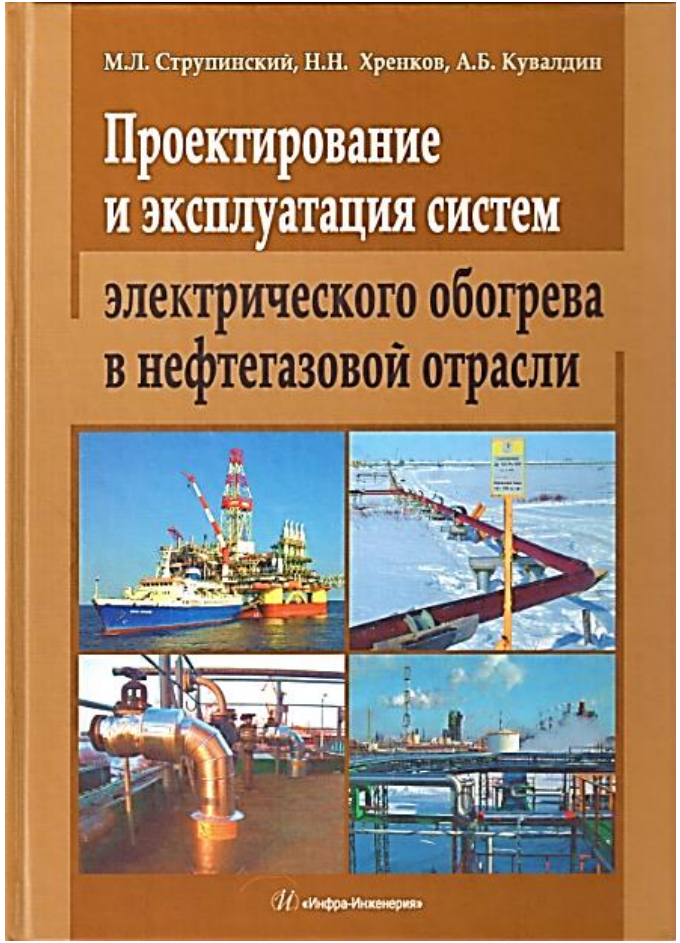
Глава 6. Системы электрообогрева на основе индукционно-резистивного нагрева (скин-системы).

Глава 7. Подсистемы управления электрообогревом и специализированные подсистемы питания.

Глава 8. Монтаж, пуско-наладка и эксплуатация систем электрообогрева.

Глава 9. Специальные вопросы разработки систем электрообогрева для нефтегазовой отрасли.

Приложения. Таблицы свойств материалов. Требования к проектированию и монтажу.



Как приобрести книгу:

1. Обратиться на сайт **e-heating.ru**
2. Найти раздел – «Книга»
3. Заполнить форму
4.По этому запросу вам будет выслан счет
5.После оплаты (стоимость книги – 2000 руб.) книга будет отправлена заказной бандеролью.

Издательство «Инфра-Инженерия» также распространяет электронную версию книги, но без участия ССТ

Благодарю за внимание!

hrenkov@sst.ru