

## **ЭЛЕКТРОТЕПЛОВАЯ ЗАЩИТА ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ НА ОБЪЕКТАХ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ**

**Блохнин Н.С., Дудукин А.В.  
Научный руководитель-доцент Карпов В.И.**

*Сибирский федеральный университет*

В настоящее время Север Красноярского края становится стратегическим регионом государственного масштаба, где интенсивно развивается новый мощный нефте-газодобывающий комплекс страны, обеспечивающий ее перспективу развития и социально-экономическое благополучие. Разработка нефтегазовых месторождений, а также транспортировка добытых сырьевых ресурсов сопряжена в условиях Севера с большими трудностями, обусловленными отрицательным влиянием низких температур окружающей среды на работоспособность различных инженерных систем: добывающих скважин, транспортирующих трубопроводов и различного технологического оборудования, а также инженерных коммуникаций, входящих в инфраструктуру городов и поселков Севера. При этом используются различные методы тепловой защиты оборудования и систем, обеспечивающих их работоспособность в любых температурных условиях.

Среди прочих, наиболее надежным и эффективным является метод активной электротепловой защиты (ЭТЗ) трубопроводов. Данный метод был использован в экспериментальном порядке при эксплуатации инженерных сетей водоснабжения и водоотведения в 1970-1980 гг. Красноярским ПромстройНИИпроектом применительно к условиям сурового климата Восточной Сибири и показал его техническую и экономическую целесообразность. Однако следует признать, что при этом все-таки имели место случаи аварийных ситуаций в системах электрообогрева инженерных сетей, приводящие к замерзанию трубопроводов. Опыт эксплуатации показал, что метод (ЭТЗ) требует весьма квалифицированного конструирования электронагревательных систем ввиду протекания достаточно сложных электротепловых процессов, происходящих в них. Надежность, безопасность и экономическая эффективность электрообогрева может быть обеспечена только на основе комплексных научных исследований, охватывающих весьма широкий круг задач, включая гидро-газодинамические процессы взаимодействия потоков транспортируемых продуктов с трубопроводами и системами их обогрева.

В представленных материалах приводятся алгоритмы решения ряда новых практических задач, возникающих при внедрении систем электрообогрева трубопроводов на объектах строительства. Рассмотренные решения могут быть использованы при проектировании и эксплуатации систем электрообогрева напорных и безнапорных трубопроводов различного назначения, уложенных над – и подземным способом.

Для инженерных коммунальных сетей получены новые решения задач теплофизического и конструкторского расчета систем поверхностного электрообогрева:

- электротепловой расчет коаксиальных нагревателей трубопроводов, работающих по принципу "Skin-effekt". Разработанный алгоритм позволяет рассчитать значения температур во внутреннем и внешнем проводниках системы, оценить глубину проникновения электромагнитной волны в стенку трубки нагревателя, рассчитать

требуемую тепловую мощность системы (ЭТЗ) и коэффициент мощности системы, определить длину питающего участка системы при заданном напряжении питающей сети и расчетных теплопотерях трубопровода;

- теплофизический расчет системы обогрева безнапорных трубопроводов с металлической стенкой при самотечном движении жидкости внутренним и поверхностным теплоисточником с оценкой термодинамического взаимодействия в системе “жидкость-воздух” расслоенного газожидкостного потока;
- теплофизический расчет предпускового прогрева охлажденного трубопровода с металлической стенкой электрическими источниками тепла при различной схеме расположения электрических теплоисточников на поверхности;
- теплофизический расчет процесса отогрева замерзшего трубопровода внутренним или поверхностным электрическим источником тепла постоянной мощности;
- поставлена и решена задача поиска оптимальной глубины заложения подземных электрообогреваемых трубопроводов, позволяющая определить такую глубину заложения при которой приведенные затраты на земляные работы и расход электроэнергии были бы минимальными с учетом естественного температурного режима грунта для любого района строительства;
- предложено подобное решение для электрообогреваемых инженерных сетей наземной прокладки с определением оптимальной толщины теплоизоляции при учете стоимости электроэнергии, идущей на обогрев труб, и материала изоляции;
- для подземных электрообогреваемых трубопроводов разработана методика построения температурного поля вокруг трубы с неизотермической стенкой, позволяющая определить оптимальное место размещения теплоисточника, обеспечивающее минимальную величину протаивания мерзлого грунта под трубопроводом;
- расчетная оценка контактного термического сопротивления в зоне контакта электрического теплоисточника с обогреваемой поверхностью и его влияние на температуру нагревателя и величину необходимой мощности системы.

Особо важными при проектировании и эксплуатации поверхностного электрообогрева трубопроводов являются вопросы обеспечения надежности и безопасности систем. Здесь на первый план выступает проблема локальных перегревов электрических теплоисточников, соединенных последовательно в общей цепи. В связи с этим решена задача электротеплового режима проводника с током при различной величине теплоотвода с его поверхности. Аналитическое решение позволило проанализировать различные ситуации, приводящие к локальным перегревам, найти критическую величину тока, при которой происходит перегорание проводников и найти конструктивные решения системы, исключающие данное явление.

Отдельно рассмотрен вопрос использования систем (ЭТЗ) при эксплуатации шлейфовых газопроводов, поскольку прокладка газовых шельфов в условиях низких температур осложнена возможностью возникновения процессов гидрато- и конденсатообразования в трубах. Учитывая специфику работы газопроводов, система электрообогрева должна иметь переменную мощность по длине сети. В связи с этим поставлена и решена задача электрообогрева газопровода спиралеобразным источником тепла с поиском оптимального распределения мощности нагревателя по длине трассы. Математическая постановка задачи включала в себя уравнения газовой динамики неизотермического потока газа и уравнение теплопроводности стенки газопровода с поверхностным спиралеобразным теплоисточником. Проведен анализ и оценка составляющих отдельных уравнений. При этом задача сведена к общему уравнению энергии движущегося потока газа при квадратичном законе изменения давления по длине магистрали. Получены аналитические зависимости для расчета

температурного режима газопровода и определения оптимального распределения мощности поверхностного нагревателя с учетом эффекта Джоуля-Томсона.