

ЭНЕРГЕТИКА, ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

УДК 519.85(075)

А. Б. Павлов, И. В. Плохов

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ПОПУТНОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОДОГРЕВЕ ТРУБОПРОВОДОВ

Представлен краткий обзор состояния нефтепроводов в Российской Федерации, исследованы тепловые неизотермические процессы при течении жидкостей с использованием метода конечных элементов в среде Comsol Multiphysics.

Ключевые слова: аварийность нефтепроводов, полимерные трубопроводы, электроподогрев, имитационное моделирование.

Одним из препятствий улучшения экологического состояния экономики России и обеспечения её устойчивого развития является высокий уровень аварийности трубопроводных систем — особенно промышленных трубопроводов нефтяного и газового назначения. Согласно данным официальной статистики, на территории России ежегодно происходит более 20 тыс. аварий, связанных с добычей нефти [1].

Основной причиной большого числа аварий является высокий износ трубопроводных систем. На нефтепромыслах страны действует протяжённая разветвлённая система нефте-газо-водопроводов с суммарной протяжённостью более 300 тыс. км и диаметром от 114 до 1020 мм. Около половины этих трубопроводов было построено 30–50 лет назад, срок их обновления давно истёк, срок нормативной эксплуатации стальных трубопроводов без применения противокоррозионных средств защиты в зависимости от условий эксплуатации в лучшем случае не превышает 10–25 лет [2].

Большими резервами повышения надёжности нефтепромысловых трубопроводных систем, сокращения потребления стальных труб и снижения энерго- и трудозатрат при переукладке трубопроводов является применение пластмассовых труб [3]. Пластмассовые трубы, в отличие от металлических, не подвержены коррозионным процессам, что повышает срок их эксплуатации. Комплекс положительных свойств и высокая технологичность монтажа трубопроводов, вследствие совершенной технологии сварки труб и наличия сварочного оборудования обеспечили массовое применение полиэтиленовых труб на нефтегазопромыслах [4]. Конструкции трубопроводов из полимерных материалов имеют неоспоримые преимущества: низкие, по сравнению с металлами, производственные расходы на изготовление труб и деталей и минимальные потребности в их чистовой обработке, небольшой удельный вес, хорошие тепло- и электроизоляционные свойства, стойкость против коррозии, сравнительно невысокая стоимость обслуживания в процессе эксплуатации, отсутствие дополнительных расходов на электрохимзащиту, снижение стоимости затрат при монтаже.

При транспортировке нефти и нефтепродуктов по трубопроводам возникает проблема, связанная с охлаждением транспортируемой жидкости. Охлаждение жидкости приводит к увеличению её вязкости, что влечёт за собой увеличение гидравлических потерь, что оказывает негативное влияние на работу насосных станций. Кроме того, понижение температуры может привести к отложению парафинов на стенках трубопроводов, которые достаточно сложно удалить с помощью различного типа скребков. Для решения этой проблемы широко применяются подогреватели различных типов.

Научными исследованиями по проблемам трубопроводного транспорта жидкостей с предварительным их подогревом в разное время занимались многие исследователи. Среди трудов, посвящённых этому направлению, следует выделить работы Л. С. Абрамзона, В. М. Агапкина, Р. А. Алиева, В. Е. Влюшина, А. К. Галлямова, В. Г. Шухова, В. А. Юфина, В. С. Яблонского и др.

До момента разработки и внедрения в производство экономически эффективных систем электроподогрева для разогрева трубопроводов и технологического оборудования широко использовались системы обогрева, теплоносителями в которых выступали пар и перегретая вода [5]. Пар несложен в получении, обладает высоким теплосодержанием и может легко транспортироваться по трубопроводам. Однако им сложно обогревать оборудование сложной конфигурации, температурный режим трудно поддаётся регулированию, а также требуется создание систем паропроводов и пароподогревателей. Использование перегретой воды в холодные периоды года при эксплуатации на открытом воздухе становится вообще невозможным [6].

Очевидные преимущества систем электроподогрева перед аналогичными по назначению водяными и паровыми системами состоят в следующем: малая материалоёмкость, простота монтажа, не подвержены коррозионным процессам, устойчивы к большим перепадам температур, оснащаются автоматизированными системами управления, которые точно и по заданному алгоритму поддерживают выбранный режим [7].

Особенным видом подогрева высоковязких нефтей является попутный подогрев с помощью электронагревательных элементов, закреплённых на внешней поверхности стенки трубопровода. Среди научных трудов, посвящённых использованию попутного подогрева, следует выделить работы П. М. Бондаренко, И. И. Ерёмину, Г. И. Иванову, В. В. Логинову, В. И. Марона, З. И. Фонарёва, А. Ф. Юкина и др.

В настоящее время одним из способов анализа и расчёта динамики процессов, происходящих при попутном подогреве нефти, является компьютерное моделирование методом конечных элементов. Разработаны и активно используются такие средства автоматизированного проектирования (САПР) как ANSYS, Comsol Multiphysics, AutoCAD и др.

Нами разработана компьютерная модель движения жидкости (нефтепродуктов) по полимерной трубе с попутным электроподогревом. При построении модели введено несколько допущений:

- режим движения жидкости в трубе считаем ламинарным;
- источником подогрева является вся поверхность стенки трубы;
- внешняя полимерная оболочка трубы отсутствует, однако внесена поправка по теплопроводности стенки трубопровода.

Пакет Comsol Multiphysics позволяет рассчитать как стационарные процессы (Stationary), так и динамические процессы (Time Dependent).

На начальном этапе построена геометрия моделируемого объекта, заданы граничные условия, введены характеристики материалов и построена расчётная сетка (рис. 1).

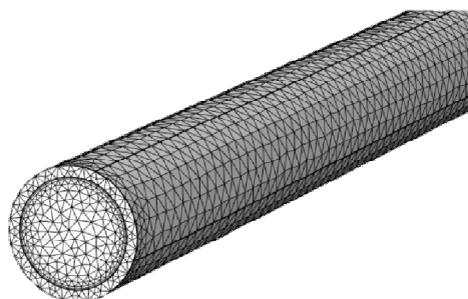


Рис. 1. Разбиение исследуемой области на конечные элементы (триангуляция)

Математическая модель процесса неизоэтермического течения жидкости в трубе реализована в Comsol Multiphysics в виде модуля сопряжённой теплопередачи (Conjugate Heat Transfer).

В результате расчётов получен широкий спектр информации о гидравлическом и тепловом характере процессов, например линии равной температуры движущейся по трубе жидкости представлены на рис. 2.

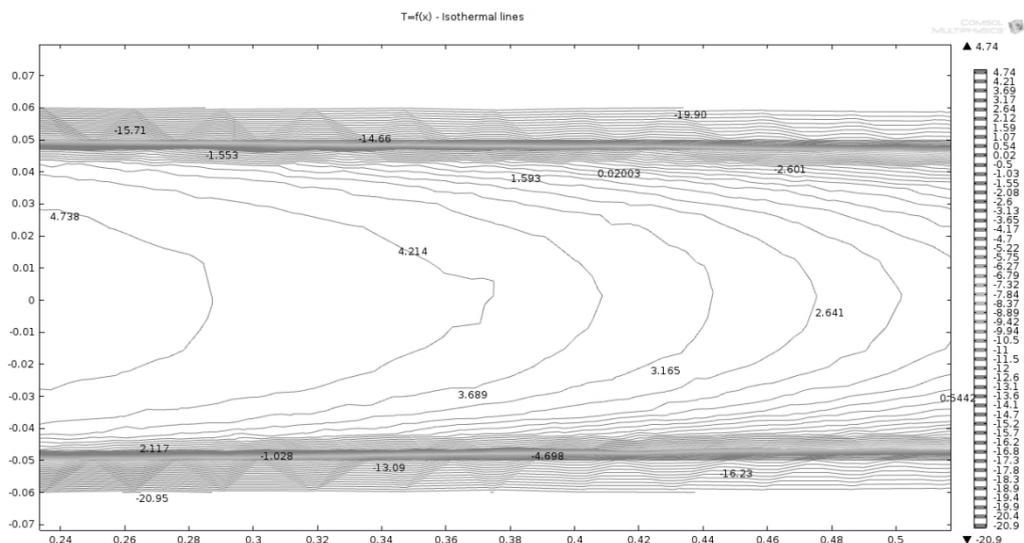


Рис. 2. Изотермические линии в трубопроводе с попутным подогревом

Особый интерес представляют данные о температуре в различных точках исследуемой модели. Comsol Multiphysics позволяет получить графики роста темпе-

ратуры в точке с течением времени (рис. 3а), графики изменения температуры жидкости в поперечном сечении (рис. 3б).

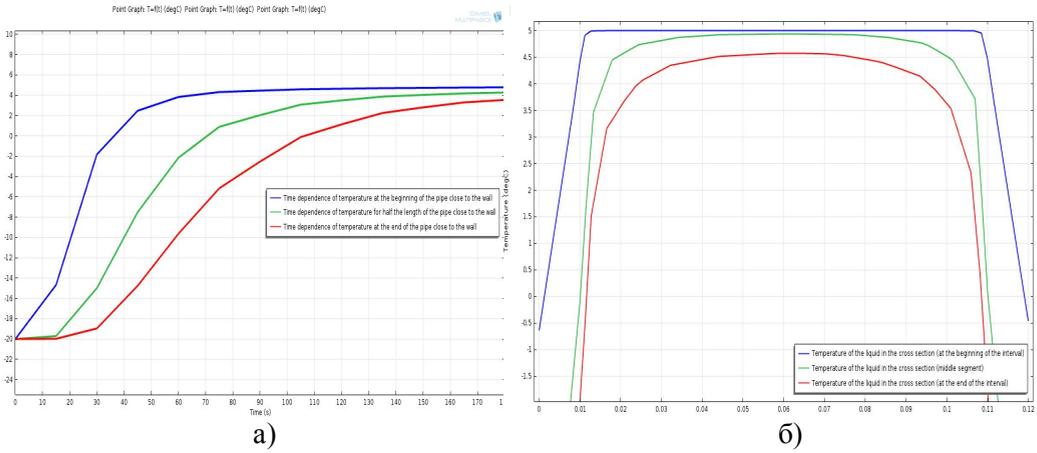


Рис. 3. а) зависимость температуры от времени вблизи от стенки трубопровода, б) температура в сечении трубопровода

Одной из целей исследования являлось получение графика потребляемой трубопроводом электрической мощности в единицу времени, при условии применения в качестве нагревательного элемента саморегулирующегося кабеля. Для этого было необходимо проинтегрировать мощность нагрева, пересекающую поверхность стенка-жидкость в единицу времени (рис. 4а) и построить искомый график (рис. 4б).

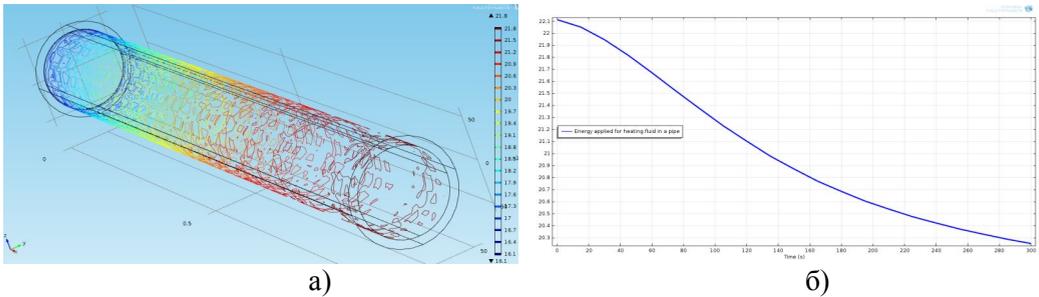


Рис. 4. а) интегрируемая поверхность передачи тепла, б) зависимость потребляемой саморегулируемым кабелем мощности

Последний график наглядно демонстрирует энергоэффективность саморегулируемых систем подогрева в сравнении с традиционным резистивным электроподогревом.

Выводы:

Построена компьютерная имитационная модель движения неизотермической жидкости в трубе, исследованы различные источники и режимы попутного электроподогрева. Получены зависимости мощности подогрева для саморегулируемых нагревательных элементов, показавшие их высокую эффективность.

Литература

1. Забелло Е. Нефтяные слёзы России: аварии на нефтепроводах провоцируют рак. РБК, 10.04.2012. [Электронный ресурс]: URL: <http://top.rbc.ru/economics/10/04/2012/645532.shtml> (дата обращения: 15.01.2013)
2. Агапчев В. И., Виноградов Д. А., Фаттахов М. М. Современные технологии и новые инженерные решения при строительстве и реконструкции трубопроводных систем нефтегазовой инфраструктуры с применением труб из термопластов // Нефтегазовое дело. 2005. Т. 3. С. 191–196.
3. Ращепкин А. К., Салагаева Е. В. Новые отечественные технологии при изготовлении и монтаже трубопроводных систем нефтегазовой инфраструктуры из комбинированных труб на основе термопластов // Нефтегазовое дело. 2005.
4. Пермяков Н. Г., Агапчев В. И. Применение пластмассовых труб на нефтепромыслах // Нефтяное хозяйство. 1995. № 9. С. 18–20.
5. Ерёмин И. И. Тепловой режим технологических трубопроводов с путевым электроподогревом / И. И. Ерёмин // Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов. 1974. № 4. С. 7–10.
6. Фонарёв З. И. Электроподогрев трубопроводов, резервуаров и технологического оборудования в нефтяной промышленности / З. И. Фонарёв. Л.: «Недра», 1984. 148 с.
7. Малахов С. А. Комплексное применение электрообогрева на нефтедобывающем месторождении / С. А. Малахов // Промышленный электрообогрев и электроотопление. 2011. № 2. С. 24–30.

Об авторе (ах)

Павлов Александр Борисович — аспирант кафедры «Электропривод и системы автоматизации», электромеханический факультет, Псковский государственный университет, Россия.

E-mail: alexander.pavlov.psk@gmail.com

Плохов Игорь Владимирович — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электропривод и системы автоматизации», электромеханический факультет, Псковский государственный университет, Россия.

E-mail: igor_plohov@list.ru

A. B. Pavlov, I. V. Plohov

SIMULATION OF THERMAL PROCESSES ALONG THE PIPELINES WITH ELECTRICAL HEATING SYSTEM

The article deals with overview of the oil pipelines in Russia, researched non-isothermal processes the pipelines with electrical heating system using the finite element method in the environment of Comsol Multiphysics.

Key words: *accident oil pipelines, polymer pipes, electric heating, simulation system.*

About the author(s)

Pavlov Alexander Borisovich, Postgraduate student of the Department of Electric Drive and Systems of Automation, Faculty of Electromechanics, Pskov State University, Russia.

E-mail: alexander.pavlov.psk@gmail.com

Plohov Igor Vladimirovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department of Electric Drive and Systems of Automation, Faculty of Electromechanics, Pskov State University, Russia.

E-mail: igor_plohov@list.ru