

УДК 519.85(075)

### **Численное моделирование параметров нагревателя трубопровода в среде Логос**

Ю.С. Чуманова

Научный руководитель: доцент, к.ф.-м.н. Б.С. Мерзликин  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050  
E-mail: ysc12@tpu.ru

### **Numerical simulation of pipeline heater parameters in the Logos environment**

J.S. Chumanova

Scientific Supervisor: Ass. Prof., Ph.D., B.S. Merzlikin  
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050  
E-mail: ysc12@tpu.ru

***Abstract.** In the present study, we provide numerical simulation of heat-mass transport. We study the model of interacting pipes with square section. We consider the process of heat transport from the pipe with higher temperature to one filled with liquid water.*

***Key words:** numerical modeling, heater, pipeline with technical liquid, heat and mass transfer.*

#### **Введение**

Исследование параметров нагревателя для поддержания в заданном диапазоне температуры технической жидкости в трубопроводе, проходящем в районах месторождения нефти, является крайне актуальным и значимым. Учитывая использование отечественного программного обеспечения для численного моделирования, исследование приобретает дополнительные аспекты актуальности:

1. Энергосбережение: оптимизация параметров нагревателя позволит снизить затраты на энергию, что является актуальной задачей в условиях повышения цен на энергоносители и стремления к уменьшению энергопотребления.

2. Эффективность системы: правильно подобранный нагреватель будет обеспечивать стабильное поддержание температуры технической жидкости в заданном диапазоне, что важно для сохранения работоспособности технических систем и исключения перегрева или остывания жидкости.

3. Безопасность: поддержание заданной температуры технической жидкости в трубопроводах имеет важное значение для предотвращения возможных аварийных ситуаций, связанных с перегревом или остыванием жидкости.

4. Независимость и конкурентоспособность: использование отечественного программного обеспечения подчеркивает научно-техническую независимость страны и способствует развитию отечественных технологий.

При транспортировке технической жидкости (нефтепродукты и вода) в условиях Крайнего Севера (низкие температуры воздуха) возникает проблема, связанная с её охлаждением. Охлаждение жидкости приводит к увеличению её вязкости, что влечёт за собой увеличение гидравлических потерь, что оказывает негативное влияние на работу насосных станций. В случае с прохождением по трубопроводам воды, необходимой как для собственных нужд, так и при добыче нефтепродуктов, возникают аварийные ситуации, когда происходит останов системы, что приводит к промерзанию трубопровода и нарушению его целостности. Для решения этой проблемы широко применяются подогреватели различных типов [1].

Физический процесс передачи тепла от нагревателя к текучей среде недостаточно изучен и использование нагревателя может привести к большим энергозатратам, которые можно снизить с помощью методов математического моделирования процессов теплопереноса в трубопроводе, проходящем на поверхности земли, позволяющих оценить тепловой эффект

от работы нагревателя и определить его параметры для бесперебойной и безаварийной работы трубопровода в условиях низких температур [2, 3].

Цель: исследовать влияние параметров нагревателя (нагревательного кабеля или нагревательного элемента) различного типа на температуру трубопровода с технологической жидкостью с помощью численного моделирования для обеспечения бесперебойной работы трубопровода в условиях низких температур.

### Материалы и методы исследования

В качестве метода исследования параметров нагревателя, оказывающих влияние на температуру трубопровода с технологической жидкостью взят численный метод моделирования, основанный на методе конечных объемов в программном комплексе Логос Препост Тепло.

С целью оценки влияния работы нагревателя на температурное состояние трубопровода с технологической жидкостью был рассмотрен вертикальный участок трубопровода диаметром 159 мм, толщиной стенки 6 мм и длиной 0,1 м. В качестве технологической жидкости взята вода. Вдоль трубопровода проложен нагреватель сечением 32 мм и длиной равной длине трубопровода. Вся конструкция изолирована теплоизоляцией 50 мм из минеральной ваты.

Для упрощения реализации модели и снижения нагрузки и системных требований к аппаратной части в работе были сделаны следующие допущения: задача стационарная, симметричная; жидкость однофазная, несжимаемая; теплофизические свойства твердых элементов постоянны; многослойная конструкция нагревателя заменена в качестве упрощения на границу, излучающую тепло.

Процесс распространения тепла в твердой изотропной среде при отсутствии деформаций описывается уравнением теплопроводности, которое в векторном виде записывается в следующем виде:

$$\partial \rho c_v T / \partial t = \text{div} \chi \text{grad} T + \rho Q_T,$$

где

$\rho = \rho(T)$  – плотность;

$C_v = C_v(T)$  – удельная теплоемкость;

$\chi = \chi(T)$  – изотропный коэффициент теплопроводности;

$Q_T$  – мощность внутренних источников теплоты.

Так как задача стационарная, то уравнение теплопроводности принимает вид:

$$0 = \text{div}(\chi \text{grad} T) + \rho Q_T$$

### Результаты

При расчете задачи с применением комплекса структурного математического моделирования была построена расчетная геометрически подобная модель обогреваемого объекта, были заданы все необходимые граничные условия и характеристики всех блоков (слоев), участвующих в теплообмене.

На начальном этапе построена геометрия моделируемого объекта и построена расчётная сетка (рис. 1).

Для оценки влияния нагревателя на распределение температуры в трубопроводе с технической жидкостью, температура которых составляет 0 °С (273 К) и температурой окружающей среды равной –30 °С (243 К), было проведено численное моделирование при максимальной температуре нагрева нагревательного элемента, составляющей 80 °С (353 К).

В результате были получены температурное поле и график распределения средней температуры в обогреваемом изолированном трубопроводе (рис. 2).

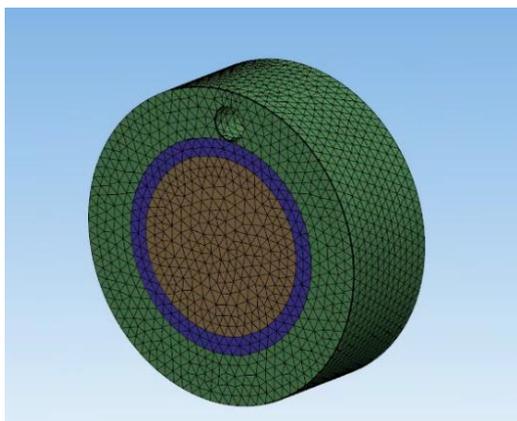


Рис. 1. Разбиение исследуемой области на конечные объемы

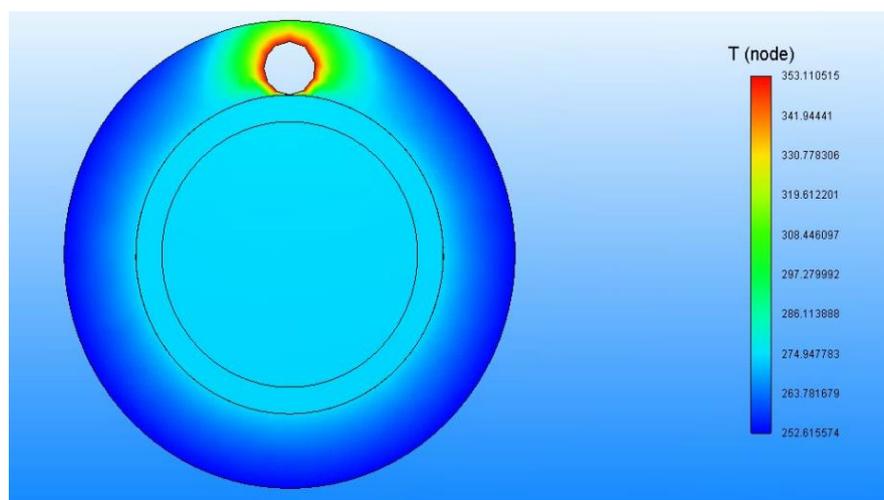


Рис. 2. График распределения температуры в обогреваемом изолированном трубопроводе

### Заключение

В результате проведенного исследования было получено поле распределения температур в трубопроводе с технической жидкостью при работе нагревателя в максимальном режиме. Температура технической жидкости внутри трубопровода находится в требуемом диапазоне (более 5 °С), которая соответствует температуре необходимой в трубопроводе в аварийных ситуациях (останов системы) при низких температурах окружающей среды.

### Список литературы

1. Струпинский М.Л., Хренков Н.Н., Кувалдин А.Б. Проектирование и эксплуатация систем электрического обогрева в нефтегазовой отрасли // Настольная книга специалиста по электрообогреву: справочник 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Вологда: Инфра-Инженерия, 2023. – 525 с.
2. Костарев Н.А., Труфанова Н.М. Применение численного моделирования для анализа эффективности греющего кабеля при добыче // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – Томск, 2023. – Т. 334, № 2. – С. 99–110.
3. Павлов А.Б., Плохов И.В. Моделирование тепловых процессов при попутном электрическом подогреве трубопроводов. – Текст: электронный // Серия «Экономические и технические науки». 2014. – № 5. – URL: <https://reader.lanbook.com/journalArticle/865529>.