

УДК 007.3

**Учет теплообменных процессов в моделях магистральных нефтепроводов в пакете Matlab/Simscape**

**Миронов А.Г.**

**научный руководитель канд. техн. наук Агафонов Е.Д.**

***Сибирский федеральный университет***

Магистральный нефтепровод – инженерное сооружение, состоящее из подземных, подводных, наземных и надземных трубопроводов и связанных с ними насосных станций, хранилищ нефти и других технологических объектов, обеспечивающих транспортировку, приемку, сдачу нефти потребителям или перевалку на другой вид транспорта [1].

Эксплуатация магистрального нефтепровода, а именно управление режимами работы, обеспечение безопасности и энергоэффективности, требует привлечения математических моделей. В качестве основного подхода к построению моделей технологических режимов перекачки нефти в АО «Транснефть – Западная Сибирь» в настоящее время принимается процедура создания статических моделей течения нефти.

Практика эксплуатации магистрального нефтепровода показывает, что среднее время, в течение которого происходит переход от одного стационарного технологического режима к другому, нередко превышает время работы в рамках какого-либо из стационарных режимов. Вследствие этого для эффективного управления процессами, планирования расхода энергоресурсов возникает необходимость в построении нестационарных гидродинамических моделей, описывающих переходные процессы в магистральном трубопроводе.

Для построения гидродинамических моделей процессов в магистральном трубопроводе в данной работе предлагается использовать Simscape, средство моделирования физических систем, входящее в инструментальный пакет математических вычислений Matlab. В нем реализован принцип визуального программирования: модель выстраивается путем соединения стандартных библиотечных, либо создаваемых пользователем виртуальных блоков. Каждый блок представляет собой модель физического объекта (электрического, гидравлического, механического и т.д.) или явления и описывается соответствующими уравнениями, как алгебраическими, так и дифференциальными. Пользователь имеет возможность задавать параметры модели и отдельных её блоков, например, реологические характеристики жидкости, геометрические размеры элементов трубопровода и так далее [2].

В рассматриваемом инструменте имеется возможность моделирования термогидравлических процессов, происходящих в трубопроводе, необходимые для этого модули собраны в термогидравлической библиотеке Thermal Liquid. Для настройки параметров жидкости в блоке *Thermal\_Liquid\_Settings\_(TL)* необходимо задать зависимости восьми параметров жидкости от температуры: плотность, вязкость, температура, внутренняя энергия, теплопроводность, изотермический объемный модуль и т.д. На практике получить данные зависимости достаточно сложно, это требует обширных лабораторных исследований, включая те, которые не предусмотрены в компании АО «Транснефть – Западная Сибирь». Данная работа посвящена созданию альтернативной, более простой библиотеки, позволяющей учитывать теплообменные процессы в моделях магистральных нефтепроводов на основании методик, принятых на предприятиях нефтегазовой отрасли в России [3].

Распределение температуры нефти или нефтепродукта вдоль профиля трубопровода  $\frac{dT}{dx}$ , имеющего плотность  $\rho$ , в стационарном режиме перекачки определяется формулой В.Г. Шухова:

$$GC_v \frac{dT}{dx} = \pi K d (T_{нар} - T), \quad (1)$$

где  $T_{нар}$  – наружная температура;  $G$  – массовый расход жидкости;  $C_v$  – удельная теплоемкость;  $d$  – внутренний диаметр трубопровода;  $K$  – коэффициент теплопередачи от жидкости, текущей в трубопроводе, к окружающей среде.

Если помимо теплопередачи от нагретой жидкости в окружающую среду рассматривается также выделение тепла в вязкой жидкости за счет сил внутреннего трения ее слоев друг от друга (диссипативный разогрев), формула Шухова представляется в виде:

$$GC_v \frac{dT}{dx} = \pi K d (T_{нар} - T) + G g i, \quad (2)$$

где  $i$  – гидравлический уклон;  $g$  – ускорение свободного падения.

Изменение кинематической вязкости  $\nu$  (м<sup>2</sup>/с) нефтей и нефтепродуктов в зависимости от температуры  $T$  (°C) можно рассчитать по формуле Рейнольдса-Филонова:

$$\nu(T) = \nu_1 \cdot e^{-k(T-T_1)}, \quad (3)$$

где  $\nu_1$  – вязкость жидкости при температуре  $T_1$ , а коэффициент  $k$  (1/°C) зависит от индивидуальных свойств жидкости. Для определения  $k$  достаточно знать вязкость  $\nu_2$  жидкости хотя бы еще при одном значении  $T_2$  температуры:

$$k = \frac{\ln(\nu_1 / \nu_2)}{T_2 - T_1}. \quad (4)$$

Для расчета плотности в зависимости от температуры используется следующая формула:

$$\rho(T) = \rho_{20} [1 + \xi(20 - T)], \quad (5)$$

где  $\xi$  – коэффициент объемного расширения;  $T$  – температура;  $\rho_{20}$  – плотность жидкости при 20 °C [3].

Создадим пользовательский блок *Hydraulic\_Resistive\_Tube*, который выполняет расчеты согласно формулам (2)-(5), а также учитывает падение давления из-за гидравлического сопротивления, местных сопротивлений и разности геодезических отметок трубы. Гидродинамические процессы сегмента трубы будут рассчитываться при начальных (задаваемых) реологических свойствах жидкости ( $\rho_0$ ,  $\nu_0$ ), которые соответствуют температуре в начале данного участка  $T_0$ . В последнем блоке сегмента

(*Hydraulic\_Resistive\_Tube*) значение температуры будет пересчитываться согласно формуле (2), будут меняться модельные значения плотности и вязкости в зависимости от температуры в соответствии с формулами (3-5). Полученные конечные реологические свойства являются начальными для следующего сегмента. При изменении температуры в начале трубопровода изменение свойств жидкости температуры в соответствующем участке трубопровода будет распространяться с задержкой равной величине  $\tau$  :

$$\tau = \frac{L}{v}, \quad (6)$$

где  $L$  – длина участка трубопровода;  $v$  – скорость течения жидкости в соответствующем участке.

Для иллюстрации результатов настоящего исследования построим 2 модели трубопровода: модель, учитывающая и не учитывающая температурное воздействие на реологические свойства нефти. Приняты следующие параметры трубопровода:  $L = 100$  км,  $D = 1000$  мм,  $\Delta = 0,2$  мм. По трубопроводу перекачивается нефтепродукт со следующими реологическими характеристиками: плотность  $\rho_{20} = 850$  кг/м<sup>3</sup>, вязкость при температуре  $\nu_{20} = 40$  сСт,  $\nu_{70} = 5,3$  сСт. Перекачка осуществляется с расходом 1,5 м<sup>3</sup>/с, давление в конце трубопровода 2 атм. Температура начального подогрева  $T_0 = 65$  °С, температура грунта  $T_{нар} = 8$  °С, коэффициент теплопередачи  $K$  равен 1,25 Вт/(м<sup>2</sup>·°С). Представим зависимости давлений от координаты сечения на рисунке 1.

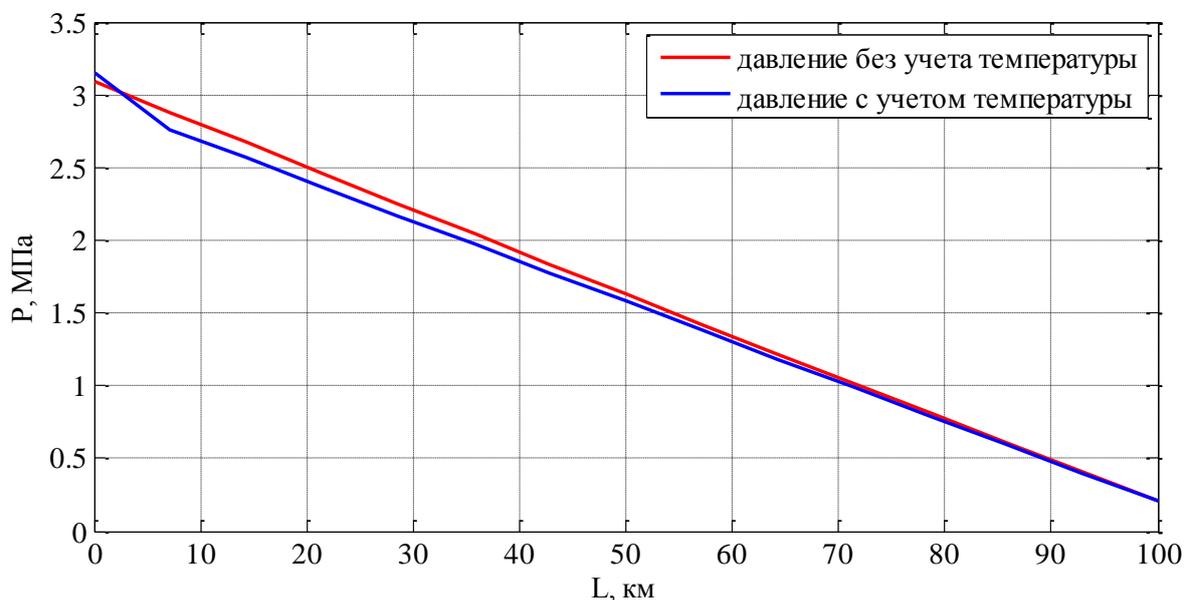


Рисунок 1 – Зависимости давлений от координаты сечения

На рисунке 1 видно расхождение давлений, полученных с помощью разных моделей. Наибольшая разница наблюдается в начале участка. По мере приближения к концу участка расхождение уменьшается из-за того, что давление в конце одинаковое в обоих моделях.

Результатом работы является создание библиотеки, позволяющей учитывать теплообменные процессы в магистральных трубопроводах. Была повышена точность

расчета моделей за счет учета температурного воздействия на реологические свойства нефти.

### **Список используемой литературы**

1. РД-01.120.00-КТН-228-06. Магистральный нефтепроводный транспорт. Термины и определения.

2. Агафонов Е.Д., Безбородов Ю.Н., Миронов А.Г. Об особенностях использования системы Matlab/SimHydraulics в задаче построения моделей магистральных нефтепроводов// Вестник КузГТУ. – 2014. – № 3. – С. 76-81

3. Лурье, М.В. Математическое моделирование процессов трубопроводного транспорта нефти, нефтепродуктов и газа: учебное пособие / М.В. Лурье – М.: ФГУП «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2003. – 336 с.