

На графике разности потенциалов « труба – земля» наблюдается повышение потенциала выше допустимого значения на участке 50-52км.

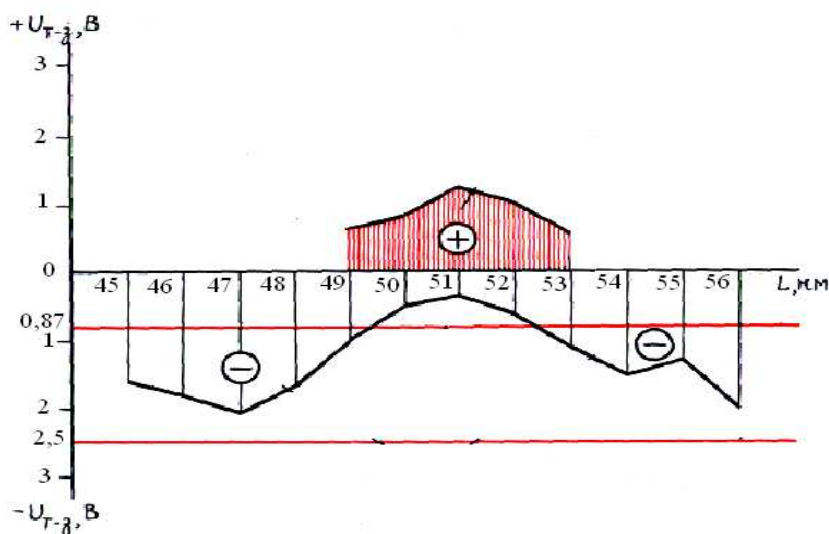


Рис.4. График разности потенциалов «труба – земля»

#### Литература

1. Абубакиров В.Ф., Буримов Ю.Г., Гноевых А.Н., Межлумов А.О., Близнюков В.Ю. Буровое оборудование: Справочник: В2-х т. Т. 2. Буровой инструмент. – М.: ОАО «Издательство «Недра», 2003. – 494 с.
2. Буровые комплексы: современные технологии и оборудование / под ред. А. М. Гусмана, К. П. Порожского. — Екатеринбург: УГГГА, 2002. – 592 с.
3. Абубакиров В.Ф. Оборудование буровое, противовыбросовое и устьевое: справочное пособие, Т.1. – М: Газпром, 2007. – 732 с.

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В СТЕНКЕ ТРУБОПРОВОДА

Н.С. Куделин, П.О. Дедеев

Научный руководитель профессор С.Н.Харламов.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

В настоящее время вопросы оптимизации теплоэнергетических процессов имеют высокую актуальность при решении проблем разработки газоконденсатных месторождений, в проектировании металлоемкого и высокоэффективного оборудования по транспортировке сырья, снижения потерь на трения и теплоотдачу. В данной статье рассматривается применение численного моделирования при расчете тепловых процессов в сечении и в стенке трубопровода.

Научное сообщество широко применяет численные методы для решения различных проблем моделирования процессов турбулентного течения в развивающихся пристеночных слоях [4], детального расчета полей турбулентного течения [2], влияние граничных слоев на структуру течения [3], задач о комплексном физико-математическом моделировании вибро-акустических и гидродинамических процессов в трубопроводах [6], о моделировании движения неньютоновских жидкостей [7], а также в ряде других областей.

Учитывая все вышеуказанные факторы, цель настоящей статьи – создание комплексной математической модели физических процессов, которые происходят в магистральных трубопроводах. Достижение поставленной цели включает в себя выполнение следующих задач: представить численное решение термальной модели трубопровода, образовать связь между термодинамическими, акустическими и гидравлическими процессами, разработать комплексную численную модель, основанную на процессах, описанных выше.

Отметим, что на данный момент прямое численное моделирование возможно только для потоков с относительно низкими числами Рейнольдса. Однако данный метод весьма полезен для описания турбулентной структуры потоков, поскольку способен дать детальную информацию о картине течения и участвовать в оценке эффективности турбулентных моделей [5].

На пути расчетно-теоретического исследования движения жидкости и теплообмена при переменных физических свойствах возникают трудности математического и физического характера. Математические трудности состоят в нелинейности уравнений движения и энергии в случае переменности теплофизических свойств. Эти трудности преодолимы, например, путем использования метода прямого численного моделирования [5] и применения вычислительных машин.

Математической основой настоящей статьи является дифференциальное уравнение теплопроводности в частных производных второго порядка, выраженное в цилиндрических координатах:

$$c_p \rho \frac{\partial U}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( \lambda r \frac{\partial U}{\partial r} \right), \quad (1)$$

где  $U$  – функция температурного поля,  $C_p$  – теплоёмкость при постоянном давлении,  $\lambda$  – теплопроводность материала,  $\rho$  – плотность материала,  $r$  – радиус трубопровода,  $t$  – время.

Граничными условиями являются условие Коши (2), условие для стенки трубопровода (3), условие симметрии (4):

$$U(r, 0) = U_0, \quad (2)$$

$$U(R, t) = U_w, \quad (3)$$

$$\frac{\partial U(0, t)}{\partial r} = 0. \quad (4)$$

Путём разложения скалярной функции температурного поля в ряд Тейлора получаем выражения (5), (6):

$$\frac{\partial U}{\partial t} = \frac{U_j^i - U_j^{i-1}}{\tau} + o(\tau), \quad (5)$$

$$\frac{\partial}{\partial r} \left( \lambda r \frac{\partial U}{\partial r} \right) = \lambda \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial U}{\partial r} \right) = \frac{\lambda}{h^2} \left[ (0.5 \cdot (r^j + r^{j+1})(U_{j+1}^i - U_j^i) - (0.5 \cdot (r^j + r^{j-1})(U_j^i - U_{j-1}^i)) \right] + o(h^2), \quad (6)$$

где  $o(\tau)$  и  $o(h^2)$  – бесконечно малые величины первого и второго порядка малости,  $\tau$  – шаг по временной координате,  $h$  – шаг по пространственной координате,  $j=1..N$ ,  $N$  – параметр, задающий геометрию накладываемой на сечение трубопровода расчетной сетки. Параметр  $h$  задаётся выражением (7)

$$h = \frac{R}{N-1}. \quad (7)$$

Дифференциальное уравнение (1) сводится к виду (8):

$$A_j \cdot T_{j+1}^i + B_j \cdot T_j^i + C_j \cdot T_{j-1}^i = D_j, \quad (8)$$

где  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$  имеют вид (9), (10), (11), (12) соответственно.

$$A_j = -\frac{a \cdot \tau}{r_j \cdot h^2} r^{i+\frac{1}{2}}, \quad (9)$$

$$B_j = \left( 1 + \frac{a \cdot \tau}{r_j \cdot h^2} (r^{i+\frac{1}{2}} + r^{i-\frac{1}{2}}) \right), \quad (10)$$

$$C_j = -\frac{a \cdot \tau}{r_j \cdot h^2} r^{j-1}, \quad (11)$$

$$D_j = U_j^{i-1}. \quad (12)$$

Стоит отметить, что точная функция  $U$  заменяется сеточной функцией  $T$ , а также то, что в данном виде уравнение (1) готово для проведения численного моделирования.

Адекватным представляется использование метода прогонки (TDMA – tridiagonal matrix algorithm), суть которого [8] сводится к выражению (13).

$$T_{j-1}^i = L_j T_j^i + K_j. \quad (13)$$

Путём подстановки (13) в (8), находятся выражения для прогоночных коэффициентов (14), (15).

$$L_j = \frac{-A_j}{B_j + L_{j-1} C_j}, \quad (14)$$

$$K_j = \frac{D_j - C_j K_{j-1}}{B_j + L_{j-1} A_j}. \quad (15)$$

Из граничных условий находим начальные прогоночные коэффициенты (16) и (17), а также выражение для температуры на оси трубопровода 26. На этом этапе модель готова для программной реализации.

$$K[1] = T_w, \quad (16)$$

$$L[1] = 0, \quad (17)$$

$$T[N] = \frac{K[N]}{1 - L[N]}. \quad (18)$$

Численное решение данной задачи осуществляется с привлечением вычислительных машин, а именно интегрированной среды разработки «Lazarus 1.6», зарекомендовавшей себя как мощный конструкторский инструмент со следующими преимуществами: общественная лицензия GPL, широкое применение в различных сферах науки и техники, возможность создания кроссплатформенных приложений [1].

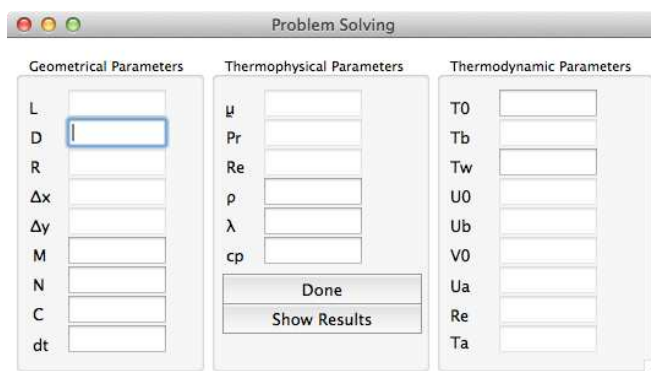


Рис. Основное окно программы решения задачи

Результаты исследования указывают на успешное выполнение упомянутых выше задач: представление численного решения уравнения теплопроводности неявным методом, образование связи между процессами на стенке и внутри трубопровода, разработка комплексной численной модели, описывающей процессы теплопереноса, выполненная в интегрированной среде разработки «Lazarus 1.6».

Перспективным представляется развитие представленной модели с включением механизмов, учитывающих гидродинамику и вибро-акустические эффекты, разработка алгебраических моделей теплообмена при ламинарном или турбулентном течении для сопряжения с уже выполненными расчетами.

#### Литература

1. Free Pascal и Lazarus: Учебник по программированию / Под ред. Е.П.Алексеева, О.В. Чесноковой, Т.В. Кучер. – М.: ALT Linux; Издательский дом «ДМК-пресс», 2010. – 440 с.: ил.
2. Kasagi N., Tomita Y., Kuroda A. Direct Numerical Simulation of Passive Scalar Field in a Turbulent Channel Flow. // 3- ASME-JSME Thermal Engineering Joint Conference. – Reno, 1991. – p. 598-606.
3. Marusic I., McKeon B.J., Monkewitz P.A., Nagib H.M., Smiths A.J. Wall-bounded turbulent flows at high Reynolds numbers: Recent advances and key issues. // Physics of Fluids. – Melville, 2010. – doi:10.1063/1.3453711
4. Rai M.M., Moin P. Direct Numerical Simulation of Transition and Turbulence in a Spatially Evolving Boundary Layer. // Journal of Computational Physics. – Amsterdam, 1993. – Vol. 109. – p. 169-192.
5. Алгоритмы при моделировании гидродинамических процессов. / Под ред. С.Н. Харламова. - Томск: Издательство ТПУ, 2008. – 80 с.: ил.
6. Харламов С.Н., Дедеев П.О. Исследование нелинейных взаимодействий акустических и гидродинамических пространственных процессов в трубопроводах сложной формы в режимах их возбуждения. // Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе: материалы Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых ученых и специалистов, посвященной 50-летию создания Тюменского индустриального института. - Тюмень: ТюмГНГУ, 2013. - с. 240-244.
7. Харламов С.Н., Терещенко Р.Е., Куделин Н.С. Гидродинамика и теплообмен в условиях установившегося неньютоновского течения нефтепродуктов в трубопроводах // Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе: материалы Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых ученых и специалистов, посвященной 50-летию создания Тюменского индустриального института. - Тюмень: ТюмГНГУ, 2013. - с. 244-248.
8. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. / Под редакцией С. Патанкара. – М.: ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ, 1984. – 130 с.: ил.

### ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПОДВОДНОГО ПЕРЕХОДА ЧЕРЕЗ РЕКУ ЧИГАС КМ. 418 «АЛЕКСАНДРОВСКОЕ-АНЖЕРО-СУДЖЕНСК»

Лыонг Тху Хыонг, М.Н. Мадракова

Научный руководитель профессор П.В. Бурков

*Национальный исследовательский Томский Политехнический Университет, г. Томск, Россия*

Магистральные и технологические трубопроводы отличаются от других сооружений сложной схемой действующих силовых факторов, следовательно, неопределенностью уровня напряженно – деформированного состояния, масштабностью и т.п.

Повышение надежности трубопроводов становится актуальной проблемой на всех этапах: проектирования, сооружения и эксплуатации трубопроводных систем. Весьма важно установить адекватность поведения сооруженного трубопровода под действием эксплуатационных и внешних воздействий расчетной схеме, принятой в нормах и правилах, т.е. необходимо исследовать конструктивную надежность трубопроводов.

На первый план решения проблемы о надежности выдвигаются задачи расчета на прочность, устойчивость, долговечность. Для их решения необходимы: информация о нагрузках и воздействиях на