

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОПЕРЕНОСА В ЧУВСТВИТЕЛЬНОМ ЭЛЕМЕНТЕ РТУТНОГО МАНОМЕТРИЧЕСКОГО ТЕРМОМЕТРА

Л.Е. Валиева, А.А. Горлова, А.В. Полянская  
Томский политехнический университет  
ЭНИН, АТП, группа 5Б42

Измерение температуры является важным компонентом систем контроля качества и безопасности многих промышленных производств, а также важной составляющей большинства прикладных научных исследований, связанных с температурными влияниями. В зависимости от объекта и условий выполнения измерений используются контактные и бесконтактные средства измерений. Среди контактных средств измерения широкое применение получили термопреобразователи (термометры сопротивления, термопары), а также манометрические термометры [1–4].

Манометрические термометры используются для измерения температуры газов и жидкостей в диапазоне от  $-50$  до  $+600$  °С. Принцип действия манометрических термометров основан на зависимости давления рабочего тела (газа или жидкости) от измеряемой температуры.

Манометрические термометры получили достаточно широкое распространение: они используются в системах контроля и управления технологическими процессами в энергетике, металлургической, пищевой и других видах промышленности [1–3].

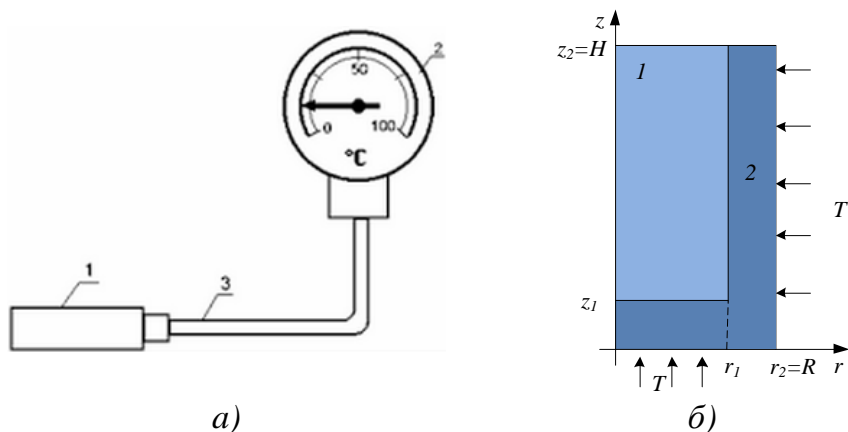


Рис. 1. Конструкция манометрического термометра (а) и схема области решения задачи (б)

Конструкция чувствительного элемента манометрического термометра (рис. 1, а), как правило, включает термобаллон 1, шкалу 2 и капилляр 3.

Целью настоящего исследования является моделирование чувствительного элемента манометрического термометра (термобаллона) и исследование интегральных характеристик нестационарного процесса теплопереноса в типичном чувствительном элементе манометрического термометра.

При моделировании рассматривается задача теплопроводности для области, представляющей неоднородную систему, включающую защитный чехол и рабочее вещество (рис. 1, б).

Нестационарный процесс переноса тепла в чувствительном элементе описывается системой дифференциальных уравнений:

$$c_1 \cdot \rho_1 \cdot \frac{\partial T_1}{\partial t} = \lambda_1 \left( \frac{\partial^2 T_1}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T_1}{\partial r} + \frac{\partial^2 T_1}{\partial z^2} \right), \quad 0 < r < r_1, \quad z_1 < z < H;$$

$$c_2 \cdot \rho_2 \cdot \frac{\partial T_2}{\partial t} = \lambda_2 \left( \frac{\partial^2 T_2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T_2}{\partial r} + \frac{\partial^2 T_2}{\partial z^2} \right), \quad 0 < r < R, \quad 0 < z < z_1; \quad r_1 < r < R, \quad z_1 < z < H;$$

где  $\rho_i$  – плотность материала,  $c_i$  – удельная теплоемкость материала,  $\lambda_i$  – коэффициент теплопроводности материала

Математическая модель включает следующие граничные и краевые условия.

$$\begin{aligned} T_1(r_1, z) &= T_2(r_1, z) \\ -\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial r} \Big|_{r=r_1} &= -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial r} \Big|_{r=r_1} && r=r_1; \quad z_1 < z < H \\ T_1(r, z_1) &= T_2(r, z_1) \\ -\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial z} \Big|_{z=z_1} &= -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial z} \Big|_{z=z_1} && z=z_1; \quad r_1 < r < R \\ \frac{\partial T}{\partial z} &= 0; \quad \frac{\partial T}{\partial r} = 0 && z=H; \quad r=0 \\ T &= T_r && z=0; \quad r=R \end{aligned}$$

Начальная температура чувствительного элемента манометрического термометра составляла 293 K.

Моделирование выполнено с учетом теплофизических характеристик материалов, изменяющихся с изменением температуры:

$$\begin{aligned} c(T) &= 2 \cdot 10^{-7} \cdot T^3 - 0,0002 \cdot T^2 + 0,0375 \cdot T + 138, \\ \rho(T) &= -7 \cdot 10^{-7} \cdot T^3 + 0,0009 \cdot T^2 - 0,2733 \cdot T + 121, \\ \lambda(T) &= 2 \cdot 10^{-7} \cdot T^3 - 0,0003 \cdot T^2 + 0,1333 \cdot T - 14. \end{aligned}$$

Приведенные зависимости получены с помощью метода наименьших квадратов на основании справочных данных [5]. Диаметр термобаллона принят равным 16 мм, длина термобаллона составляет 110 мм.

Одной из определяемых характеристик является минимально необходимая длительность нагревания термометра. Длительность нагрева определялась как продолжительность нагревания, необходимая для того, чтобы температура рабочего вещества отличалась от измеряемой температуры на величину, не превышающую допускаемую погрешность измерения [6].

Зависимость длительности нагревания от измеряемой температуры для ртутных манометрических термометров приведена на рис. 2.

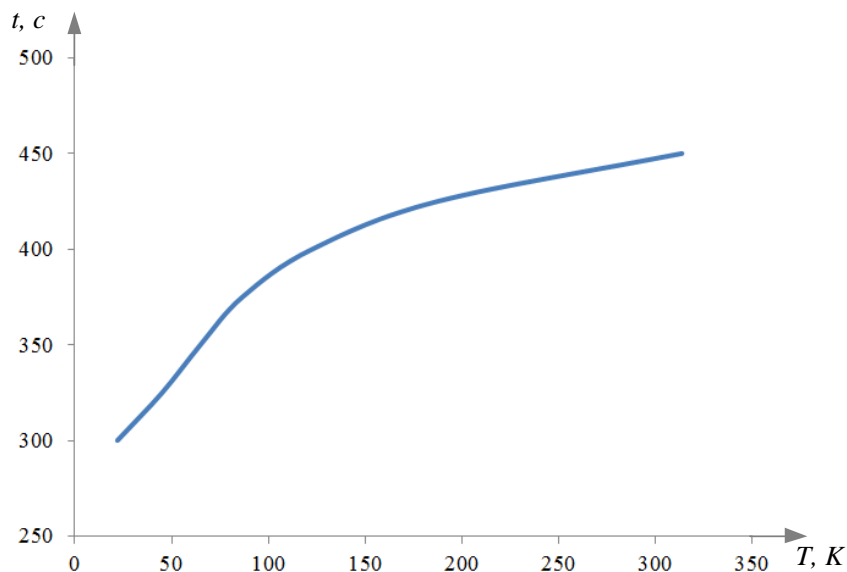


Рис. 2. Зависимость длительности нагревания от измеряемой температуры

Из представленных данных видно, что зависимость минимально необходимой длительности нагревания от измеряемой температуры не линейна. Определение температурного поля в чувствительном элементе выполнено при двух значениях расчетного шага по времени (0,001 секунда и 0,01 секунда) с целью определения влияния указанного параметра на результаты расчетов. Полученные температурные поля показаны на рис. 3.

Распределение температуры в чувствительном элементе манометрического термометра свидетельствует об интенсивном нагреве защитного металлического чехла, и о более длительном нагреве рабочего вещества.

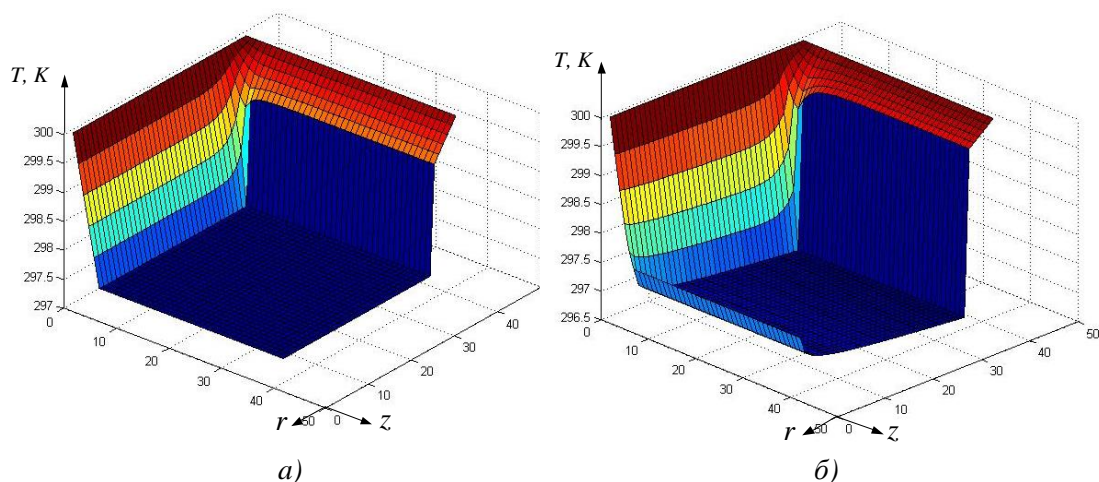


Рис. 3. Температурное поле в термобаллоне: *a* – расчетный шаг по времени  $\tau=0,001$  с; *б* – расчетный шаг по времени  $\tau=0,01$  с

Сравнительный анализ рис. 1, а и рис. 1, б показывает, что при шаге по времени  $\tau=0,01$  секунда наблюдаются значительные неточности расчета: завышенные значения температуры на оси  $z$ . Приведенные данные позволяют сделать вывод о том, что использование шага по времени  $\tau=0,01$  с не приемлемо при выполнении численных исследований процесса теплопереноса в чувствительном элементе манометрических термометров.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Childs, P.R.N. Advances in temperature measurement // Advances in Heat Transfer. – 2003. – № 36. – 111–116 p.
2. Схиртладзе А.Г., Быков С.Ю., Схиртладзе С.А. Восстановление работоспособности манометрических термометров // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2013. – № 7 (110), 58–60 с.
3. Practical Temperature Measurement // Peter R.N. Childs, B.Sc. (Hons), D.Phil., C.Eng., F.I.Mech.E. - Butterworth-Heinemann, 2001. – 368 p.
4. Atroshenko Y. K., Strizhak P. A. and Yashutina O. S. Determination of necessary time of measurements of surface thermocouples depending on conditions of technological processes (Article number 01061) // EPJ Web of Conferences 82, 2015.
5. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам жидкостей и газов. – М.: Альянс. – 2014. – 720 с.

6. ГОСТ 16920-83. Термометры и преобразователи температуры манометрические. Общие технические требования и методы испытаний. – М.: Изд-во стандартов. – 1984. – 14 с.

Научный руководитель: Ю.К. Атрошенко, ассистент каф. АТП ЭНИН ТПУ.

## **УПРАВЛЕНИЕ ТЕПЛОВЫМИ РЕЖИМАМИ УДАЛЕННЫХ МАЛООБСЛУЖИВАЕМЫХ ОБЪЕКТОВ**

М.Н. Морозов, П.А. Стрижак  
Томский политехнический университет  
ЭНИН, АТП

В настоящее время проблема повышения энергоэффективности остро стоит для многочисленных объектов, расположенных в северных районах России. К таким объектам относятся метеостанции, научные станции, объекты нефтегазотранспортной системы и др. Проблема нерационального использования энергии напрямую влияет на развитие промышленной инфраструктуры, строительство новых нефте- и газопроводов, вызывая дефицит генерирующих мощностей. Учитывая удаленность большей части таких объектов от централизованных источников энергоснабжения, а также относительно высокую стоимость тарифов на энергию, крайне важно обеспечить повышение энергетической эффективности. Известно, что весомая часть энергии расходуется на поддержание климата [3] в производственных помещениях. Учитывая расположение большинства удаленных объектов в суровых климатических условиях, имеется значительный потенциал энергосбережения.

Цель работы заключается в исследовании определенного класса удаленных объектов для определения наиболее оптимальных мероприятий, направленных на повышение энергетической эффективности объектов, а также для оценки потенциального энергосберегающего эффекта. В качестве объекта исследования выбран блок-контейнер, как наиболее распространенная мобильная платформа для размещения широкого класса оборудования: автоматические метеостанции, системы связи, сепарационные и компрессорные установки для добычи газа, системы измерений количества и показателей качества нефти, утилизация попутного нефтяного газа, автономные источники энергии и т.д. Для исследования тепловых процессов указанного объекта разработана имитационная модель (рисунок 1), позволяющая минимизиро-