

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ СРЕДСТВ ПРИ АНАЛИЗЕ ТЕРМОГРАММ ПОГРУЖЕННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

КУХАРЕВ Ю.А.

Рассматриваются задачи тепловой диагностики трубопроводов. Указываются проблемы, возникающие при анализе результатов контроля, и пути их решения. Излагаются результаты моделирования тепловых процессов в системе “трубопровод-окружающая среда”.

1. Введение

Одним из перспективных направлений контроля трубопроводов является тепловой контроль, который отличается безопасностью, дистанционностью, возможностью контроля больших участков магистрали на предмет наличия утечек, засорений и всплывий погруженных трубопроводов [1]. В последние годы в тепловом контроле (и не только в нем) объектов наблюдается тенденция к росту информативности получаемых данных. В настоящее время требуется не только заключение о наличии дефекта с высокой степенью достоверности, но также информация о его параметрах, о работоспособности системы в целом. Такую информацию в подавляющем большинстве случаев невозможно получить без компьютерного анализа данных, полученных в результате контроля [2].

Целью данной работы является построение адекватных теплофизических объектов контроля, компьютерного моделирования тепловых процессов в них и справочных диаграмм для практического использования при тепловом контроле трубопроводов.

2. Построение тепловой модели объекта контроля

Бездефектный трубопровод в однородном изотропном грунте можно представить, как протяженный источник тепла, проложенный в прямоугольной области больших размеров, на верхней границе которой теплообмен осуществляется по закону Ньютона, остальные границы теплоизолированы (рис. 1). Если принять размеры области достаточно большими, то все тепло, выделяемое трубопроводом, будет проходить через верхнюю границу. Предварительные расчеты показали, что при отношении размеров области к диаметру трубопровода, большему 50, погрешность, возникающая из-за принятого допущения, не превышает 5%.

Утечку жидких продуктов небольшой мощности можно представить в виде одного точечного источника тепла или комбинации таких источников, находящихся в объеме грунта. Факторы, влияющие на температурное поле на поверхности грунта, можно условно разделить на две группы: теплофизические характеристики (ТФХ) грунта и параметры внутренних источников тепла в грунте (трубо-

проводов, утечек и т.д.). К ТФХ грунта относятся теплопроводность, температуропроводность грунта и коэффициент теплоотдачи поверхности ($l_{гр}$, $a_{гр}$, $a_{пов}$). Бездефектный трубопровод характеризуется глубиной залегания $L_{тр}$, диаметром $D_{тр}$ и температурой стенок $T_{тр}$ (или мощностью, выделяемой трубопроводом $Q_{тр}$). Коэффициент температуропроводности $a_{гр}$ влияет только на время вхождения системы в стационарный режим после изменения какого-либо из факторов. Таким образом, внешний вид поля на поверхности грунта для бездефектного трубопровода зависит от следующих факторов: $l_{гр}$, $a_{пов}$, $L_{тр}$, $D_{тр}$, $T_{тр}$ ($Q_{тр}$). В случае утечки появляется дополнительный источник (или источники) тепла, который характеризуется выделяемой мощностью $Q_{ист}$ и координатами в пространстве $X_{ист}$, $Y_{ист}$, $Z_{ист}$. Теплофизическая модель трубопровода, проложенного в грунте с простейшим представлением дефекта типа “утечка” (“утонышение стенки”), представлена на рис. 1.

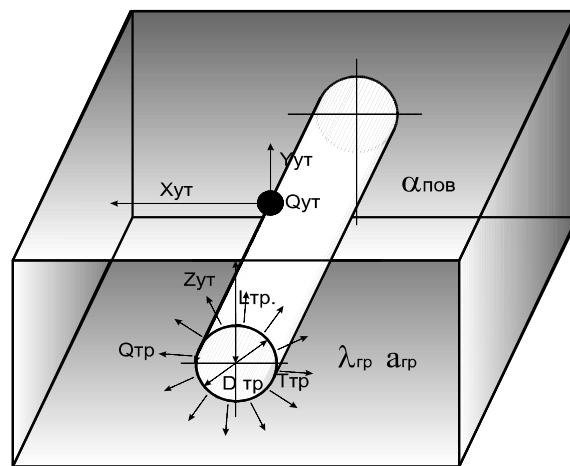


Рис. 1. Теплофизическая модель объекта контроля “трубопровод” с дефектом типа утечка

3. Программная реализация модели

Назначением предложенной теплофизической модели является нахождение температурного распределения на поверхности грунта над объектом контроля при известных параметрах, т.е. решение прямой задачи теплопроводности. Чтобы получить температурное распределение на поверхности грунта, используем метод конечных разностей по неявной схеме в трехмерной области [3]. Данный метод реализован в виде компьютерной программы “Трубопровод”. Из соображений точности получаемых данных и скорости работы компьютерной программы количество шагов сетки варьируется от 100 до 200 в направлениях осей Ox , Oy и Oz , а размеры шагов сетки 0,05-0,2 м. Для бездефектного трубопровода можно ограничиться рассмотрением двумерной области, поэтому количество шагов по Z выбирается минимальным для ускорения работы компьютерной программы. Программа написана под Windows и имеет удобный пользовательский интерфейс. Кроме бездефектного трубопровода, в ней в качестве объекта может задаваться вторая нитка трубопровода, проложенная параллельно (две нитки магистрали) или перпендикулярно (пересечение труб) к первой, а также точечные источники

тепла для моделирования утечки в трубопроводе. Для устойчивой работы программы требуется компьютер не ниже Pentium-200 с 32М ОЗУ.

Программа "Трубопровод" реализует компьютерное решение прямой задачи теплопроводности, результатом которого является трехмерный массив температур в моделируемой области, который может быть сохранен на диске вместе с исходными данными для дальнейшего использования. Также возможен просмотр температурных срезов в произвольной плоскости, параллельной любой из базовых плоскостей области. Дополнительно в программе предусмотрен ряд возможностей по анализу и документированию получаемых тепловых полей.

К недостаткам данного метода относится невозможность применения его для контроля трубопроводов в реальном масштабе времени из-за сравнительно большого времени счета (несколько минут).

4. Проверка адекватности построенной модели

Для проверки адекватности построенной модели были проведены измерения тепловых полей над реальным газопроводом. Измерения проводились на Юльевском нефтегазовом промысле пирометром Micron - 102М. В результате измерений получили термопрофиль на поверхности грунта, перпендикулярно к оси залегания трубопровода. Погодные условия оставались стабильными в течение семи дней до начала измерений, поэтому температурное поле на поверхности грунта можно считать стационарным. Результаты измерений пяти температурных распределений на поверхности грунта над трубопроводом, проведенных через 10 м вдоль его оси, представлены на рис.2.

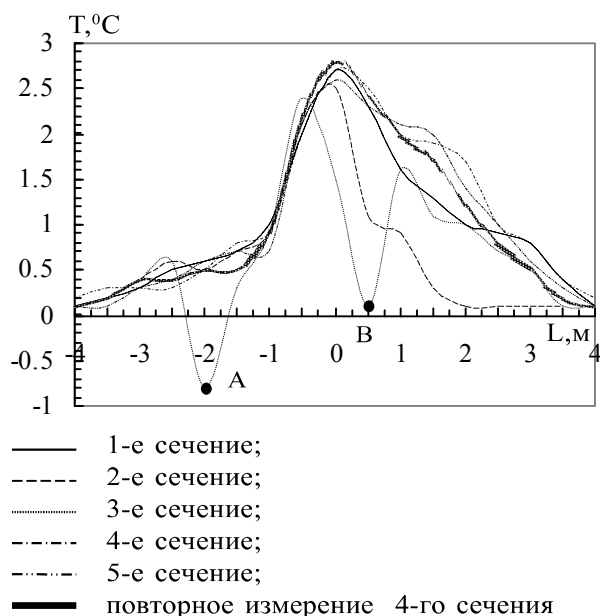


Рис.2 . Температурные распределения на поверхности грунта

Как видно из приведенных данных (кривая 3), в точках А,В наблюдается температурная аномалия, вызванная наличием нарастающего снега и талой воды на поверхности земли. Кроме этого, на

графиках наблюдается некоторая несимметричность температурных распределений относительно оси залегания трубопровода. Предположительно такое влияние может оказывать грунтовая дорога, проходящая параллельно трубопроводу. В месте ее прохождения наблюдается уплотнение грунта и, следовательно, изменение его параметров. На рис.3 представлено усредненное значение 6 измеренных температурных распределений. Там же показан термопрофиль, рассчитанный при помощи программы "Трубопровод". В качестве исходных использовались паспортные данные трубопровода ($L_{тр} = 1м$, $D_{тр}=298мм$) и температура поверхности трубы, измеренная на входе трубопровода в грунт ($T_{тр}=32,9^{\circ}C$). Параметры грунта $\lambda_{гр}=1.2 \frac{Вт}{м \times ^{\circ}C}$, $\alpha_{пов}=10 \frac{Вт}{м^2 \times ^{\circ}C}$ взяты из справочной литературы [4,5].

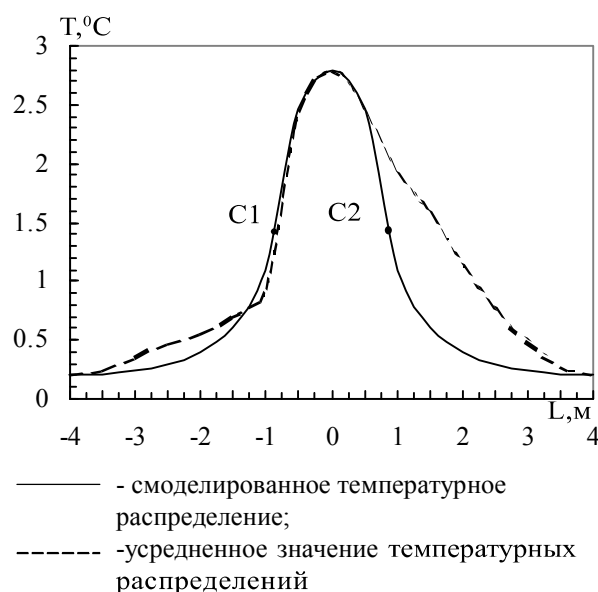


Рис. 3. Смоделированное и среднее температурные распределения на поверхности грунта

Совпадение расчетного и экспериментального термопрофилей оценивалось по среднеквадратическому отклонению, которое для приведенных на рис.3 кривых составило 18%. Причиной погрешности можно предположить неточность задания параметров грунта.

5. Анализ модели и построение справочных номограмм

Разработанная модель позволяет оценить влияние различных параметров трубопровода (глубины залегания $L_{тр}$, диаметра $D_{тр}$, температуры стенок $T_{тр}$) и грунта ($\alpha_{пов}$, $\lambda_{гр}$) на температурное распределение на поверхности грунта над трубопроводом. При этом в качестве основного параметра температурного распределения принят его максимум, т.е. максимальная температура на поверхности грунта над осью пролегания трубопровода. На рис.4 представлены графики зависимости максимальной температуры на поверхности грунта от параметров грунта и трубопровода, полученные при помощи компьютерного моделирования.

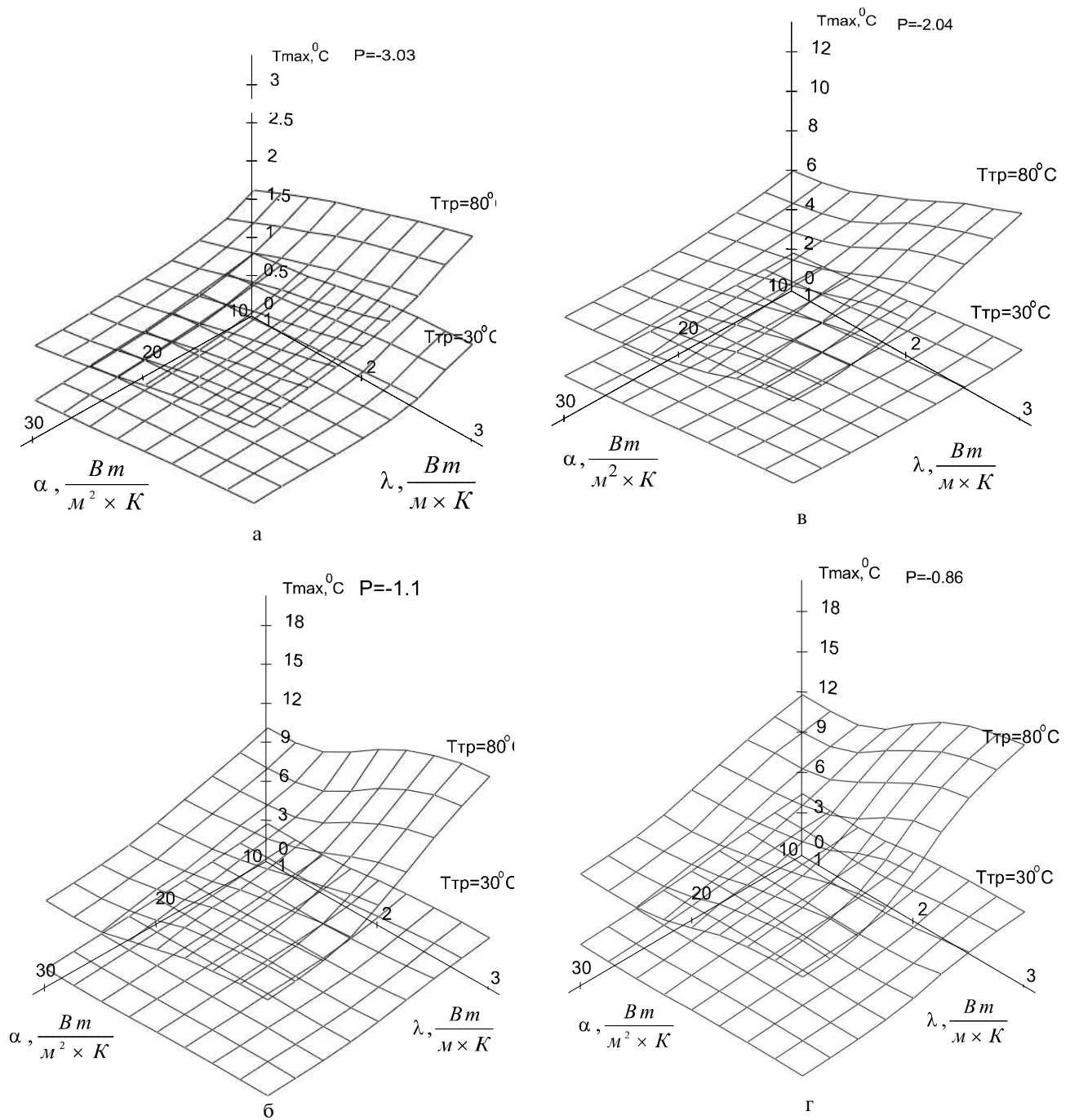


Рис.4. Зависимость максимальной температуры на поверхности грунта над трубопроводом от параметров грунта и трубопровода

Для задания геометрических характеристик трубопровода применен обобщенный параметр P :

$$P = \frac{R_{\text{тр}}}{R_{\text{тр}} + L_{\text{тр}}}, \quad (1)$$

где $R_{\text{тр}}$ – радиус трубопровода.

Представленные на рис. 4 номограммы позволяют перейти от прямой задачи теплового контроля к обратной – определению неизвестных параметров трубопровода и (или) обнаружению дефекта в нем по измеренному температурному распределению на поверхности грунта и априорным данным о параметрах грунта и трубопровода. Компьютерное моделирование показало, что изменение максималь-

ной температуры на поверхности грунта над трубопроводом в зависимости от $T_{\text{тр}}$ происходит по линейному закону, что упрощает решение обратной задачи для случаев любых данных. Подобные номограммы могут быть построены для любого трубопровода на основании разработанной модели, при наличии достаточного объема априорных данных. Однако в общем случае решение обратной задачи теплопроводности при использовании только одного параметра T_{max} может оказаться неоднозначным, так как разные трубопроводы, при разных условиях, могут вызвать одинаковую T_{max} . Для устранения этой неоднозначности требуется более полное использование информации самой термограммы. В качестве дополнительных параметров термограммы, кроме максимальной температуры,

можно использовать ширину термопрофиля между точками, в которых происходит изменение знака производной по координате (т. С1, С2 на рис.3), или “эффективную” ширину термопрофиля в виде расстояния между точками, в которых $T_{эф} = T_{max} / 1,41$.

В дальнейшем предполагается применение новых методов решения ОЗ теплопроводности (например, численно-аналитических), которые позволяют осуществить контроль трубопровода в реальном масштабе времени, т.е. непосредственно в процессе измерений температурного распределения на поверхности грунта.

6. Выводы

1. Создана теплофизическая модель трубопровода, пролегающего в грунте, а также компьютерная программа, позволяющая моделировать тепловые процессы в системе “трубопровод-грунт-воздух”.
2. Экспериментальные исследования показали достаточную адекватность построенной модели.
3. Построены справочные диаграммы, позволяющие на практике по температурному распределению

на поверхности грунта определять параметры трубопровода.

Литература: 1. *Алексеев А.А.* Упредить возможность аварий // Экология и промышленность России. 1996. С. 4-5. 2. *Троицкий В.А.* Опыт применения компьютерной системы Р-scan для оценки качества металла оборудования тепловых и атомных электростанций // Друга Українська науково-технічна конференція “Неруйнівний контроль та технічна діагностика”, Дніпропетровськ, 1997. С.154. 3. *Самарский А.А., Гурин А.В.* Численные методы. М.: Наука, 1989. 259с. 4. *Миснар А.* Теплопроводность твердых тел, жидкостей, газов и их композиций. М.: Мир, 1988. 464 с. 5. *Григорьев И.С., Мелихов Е.З.* Физические величины. Справочник. М.: Энергоатомиздат, 1991. 1195 с.

Поступила в редколлегию 08.06.01

Рецензент: д-р физ.-мат. наук, проф. Исаев А.А.

Кухарев Юрий Александрович, аспирант кафедры физики ХНУРЭ. Научные интересы: тепловой неразрушающий контроль в энергетике и трубопроводном транспорте. Увлечения и хобби: программирование на Visual C. Адрес: Украина, 61000, Харьков, пер.17 Партсъезда, 6, кв.84, тел.40-93-45.

УДК 681.3+681.5:007

ПРИМЕРЫ ПОСТРОЕНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВЫХ К СИММЕТРИЧНЫМ НЕРЕГУЛЯРНЫМ ВИРТУАЛЬНЫМ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЯМ АЛГОРИТМОВ ПОИСКА ТОЧКИ С ХАРАКТЕРНЫМ ПРИЗНАКОМ

АЛИПОВ Н.В., АЛИПОВ И.Н., ЛИТВИНОВА Е.И., РЕБЕЗЮК Л.Н.

Строятся алгоритмы поиска точки с характерным признаком, помехоустойчивые к симметричным нерегулярным виртуальным последовательностям. Эти алгоритмы задают функционирование дискретных автоматов с псевдослучайными переходами систем защиты информации.

В работе [1] описана стратегия поиска, правила формирования нового интервала неопределенности и логическая схема помехоустойчивых к симметричным нерегулярным виртуальным последовательностям алгоритмов поиска точки на отрезке единичной длины.

В предлагаемом исследовании разрабатываются примеры таких алгоритмов, синтезированных для конкретных их параметров и параметров виртуальной последовательности.

Первоначально рассмотрим случай, для которого примечательно то, что $l_1 = 1$, $l_2 = 2$, $N = 3$, $k = 1$, $a = \infty$, построение алгоритмов поиска осуществим методом индукции по i .

На основании соотношения (2) [1] устанавливаем, что для указанных параметров алгоритма уменьшение исходного интервала неопределенности относительно точки с характерным признаком первоначально произойдет для $i = 5$. В этом случае, как известно [1], используется принцип “повторных сравнений” по такой схеме:

1-й шаг: выполнить эксперимент в точке $x_1^1 = h$.

2-й шаг: повторить эксперимент.

3-й шаг: повторить эксперимент.

4-й шаг: если по итогам выполнения третьего эксперимента алгоритма возникает исход типа a_{11})

[1], то $x \in [0, x_1^1]$; $I([0, x_1^1]) = h\varphi_{2,3}^{3,1,2,\infty}(5-3,1) = h$;

если же по итогам выполнения третьего эксперимента алгоритма возникает исход типа b_{22}) [1], то

$x \in [x_1^1, 1]$; $I([x_1^1, 1]) = h\varphi_{2,3}^{3,1,2,\infty}(5-3,1) = h$;

если по итогам выполнения третьего эксперимента алгоритма возникает исход типа a_{21}) [1], то это свидетельствует о проявлении виртуальной последовательности на втором шаге алгоритма, на этом основании устанавливаем: $x \in [0, x_1^1]$; четвертый и пятый шаги являются первым и вторым шагами классического алгоритма поиска:

$I([0, x_1^1]) = h\psi_{2,3}(5-3,1) = 4h$.

Если же по итогам выполнения третьего эксперимента алгоритма возникает исход типа b_{12}) [1], то это свидетельствует о действии помехи на втором