

ТЕРМОГРАФИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ УЧАСТКОВ СНИЖЕНИЯ ПРОХОДИМОСТИ В НАПОРНЫХ ТРУБОПРОВОДАХ

Стороженко В.А., Мягкий А.В.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники

Для повышения эффективности и надежности работы трубопроводов на предприятиях проводятся очистные внутренней полости трубопроводов, что сопряжено со значительными материальными затратами. Одним из путей сокращения этих затрат могло бы служить получение предварительной информации об уровне загрязнения трубопроводов, в частности, об уровне накопления шлама на стенках трубопроводов [1].

Для решения этой задачи была выдвинута гипотеза, основанная на том, что проходящие продукты горения и плавки, выходя в трубопровод, обладают высокой относительно окружающей среды температурой, тогда как шлам, очевидно, имеет температуру, близкую к температуре трубопровода. Кроме того, газ и шлам имеют различные теплофизические характеристики (ТФХ), что в итоге должно вызвать неравномерность температурного поля на поверхности трубопроводов, при условии наличия шлама [2].

Для проверки данной гипотезы были проведены теоретические и экспериментальные исследования. Результаты которых приведены ниже.

Объект контроля (ОК) представляется в виде цилиндра с неоднородностью (дефектом). Дефект в виде утолщение стенки, моделируемый выступом внутри ОК, толщиной h_0 и размером l_0 .

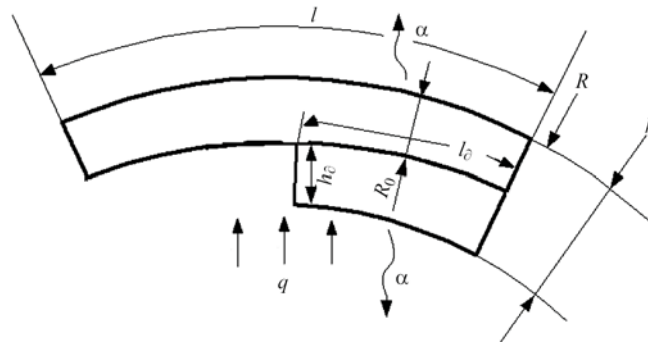


Рис. 1. Объект контроля утолщение трубы трубопровода

Анализ построенной теплофизической модели производится путем решения дифференциального уравнения нестационарной теплопроводности [3], записанного для выбранной цилиндрической системы координат:

$$\operatorname{div}(\lambda(\vec{r}, t)\nabla T(\vec{r}, t)) + q(\vec{r}, t) = c\rho \frac{\partial T(\vec{r}, t)}{\partial t}.$$

Согласно выбранной модели решение осуществляется при граничных условиях 2-го и 3-го рода на внешних поверхностях ОК:

$$h = H \left(\lambda(\vec{r}, t) \frac{\partial T(\vec{r}, t)}{\partial n} \right) \Big|_S = \alpha \left(T(\vec{r}, t) \Big|_S - T_{\text{среды}} \right) - q(\vec{r}, t); \tag{1}$$

$$h = 0 - \lambda(\vec{r}, t) \frac{\partial T(\vec{r}, t)}{\partial n} \Big|_S = -\alpha \left(T(\vec{r}, t) \Big|_S - T_{\text{среды}} \right); \tag{2}$$

$$z = h - \lambda_1(\vec{r}, T, t) \left(\frac{\partial T_1(\vec{r}, t)}{\partial z} \right) = -\lambda_2(\vec{r}, T, t) \left(\frac{\partial T_2(\vec{r}, t)}{\partial z} \right), \tag{3}$$

где $T(\vec{r}, t)$ — температура объекта контроля; $\lambda(\vec{r}, t)$ — коэффициент теплопроводности (в общем случае может зависеть от температуры), Вт/м·К; $q(\vec{r}, t)$ — плотность потока тепла, Вт/м²; α — коэффициент теплоотдачи, Вт/м²·К; ρ — плотность вещества, кг/м³; R_0 — радиус на котором находится дефект, м; R — радиус на котором находится, м; h — толщина ОК, м.

Соотношения (1, 2, 3) отражают реальные условия проведения ТДС, т.е. нагрев ОК внешним источником тепла и наличие теплообмена с окружающей средой [3, 4].

Математическая модель процесса ТДС основывается на решении дифференциального уравнения нестационарной теплопроводности.

Полученные экспериментальные данные подтверждают принципиальную возможность применения термографического метода для контроля толщины шлама в трубопроводе. При этом метод обладает такими важными достоинствами как бесконтактность и быстрдействие.

Результаты расчета оптимального режима ТДС

| q , кВт/м ² | τ_n , с | τ_z , с | ΔT_{max} , °С |
|--------------------------|--------------|--------------|-----------------------|
| 28 | 15 | 4,4 | 1,61 |

Возникающий из-за наличия шлама температурный перепад на поверхности трубы зависит от разности температур окружающей среды и выводимых продуктов горения и плавки, что обуславливает более высокую чувствительность метода при проведении контроля в зимний период.

Однако некоторые соединения при конденсации образуют жидкие соединения, так называемую жидкую фазу, которая способна быстро накапливается на горизонтальных участках трубопровода, при этом, сильно снижая проходимость. Проведенные исследования [2], показали, что на термограмме (рис. 2) четко просматривается граница раздела температурного поля между верхней (прокачиваемая субстанция) и нижней (жидкая фаза) частью трубопровода; разность температур составила 0,6 °С, что позволяет отделять зону проходимости (эффективно работающую часть трубопровода) и зону занятую жидкой фазой.

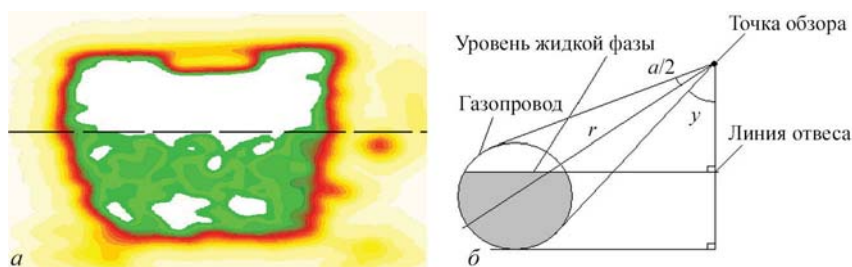


Рис. 2. Тепловое поле трубопровода (а), геометрическая схема проведения контроля (б)

Положение раздела температурного поля можно интерпретировать как уровень заполнения трубы конденсатом, соответствующий 40 % объема трубы (рис. 2, б). Полученные экспериментальные данные подтверждают принципиальную возможность применения термографического метода для контроля участков со сниженной проходимостью в трубопроводе. При этом метод обладает такими важными достоинствами как бесконтактность и быстрдействие.

Список литературы

1. Капцов И.И. (1988) *Сокращение потерь газа на магистральных газопроводах*. Москва, Недр.
2. Розгонюк В.В., Хачикян Л.А., Григиль М.А. та ін. (1998) *Експлуатаційник газонафтового комплексу*. Київ, Росток.
3. Стороженко В.А., Мешков С.Н., Сапрыкин С.А., Мягкий А.В. (2009) Применение термографического метода контроля для определения содержания жидкой фазы в газопроводах. *Методи та прилади контролю якості*, **22**, 117.
4. Vavilov V.L., Nesteruk D., Khorev V.L. (2012) Ultrasonic and inductive IR thermographic procedures as newly emerged techniques in thermal NDT. *Annual Journal of Electronics Sofia*, **6(2)**, 102–109.