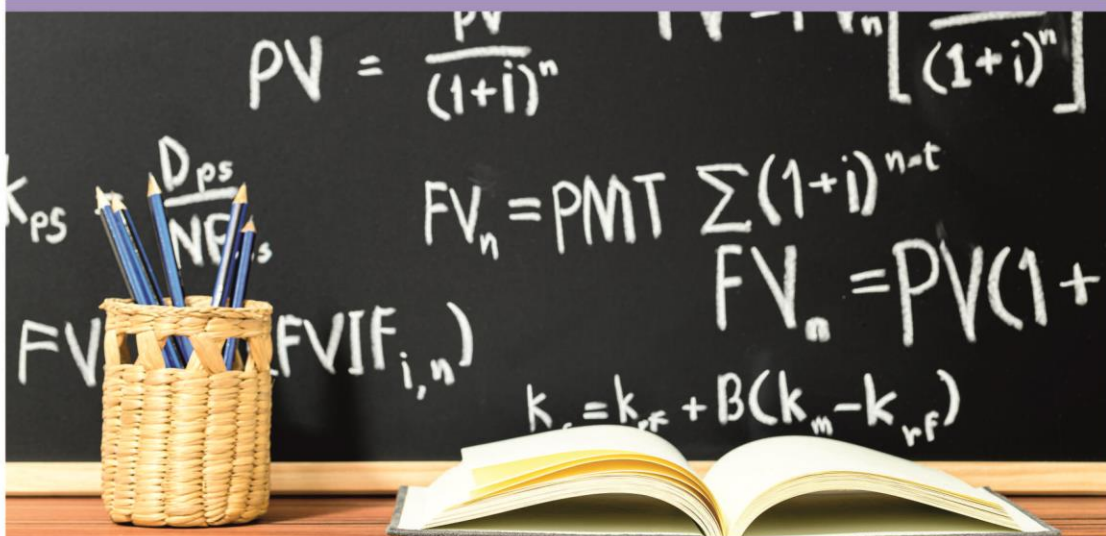




НАУЧНЫЙ
ФОРУМ
nauchforum.ru

ISSN: 2541-8394



№2(70)

НАУЧНЫЙ ФОРУМ: ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО- МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

МОСКВА, 2024



НАУЧНЫЙ ФОРУМ: ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО- МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

*Сборник статей по материалам LXX международной
научно-практической конференции*

№ 2 (70)
Февраль 2024 г.

Издается с декабря 2016 года

Москва
2024

УДК 51/53+62

ББК 22+3

Н34

Председатель редколлегии:

Лебедева Надежда Анатольевна – доктор философии в области культурологии, профессор философии Международной кадровой академии, член Евразийской Академии Телевидения и Радио.

Редакционная коллегия:

Данилов Олег Сергеевич – канд. техн. наук, научный сотрудник Дальневосточного федерального университета;

Маршалов Олег Викторович – канд. техн. наук, начальник учебного отдела филиала ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет» (НИУ), Россия, г. Златоуст.

Н34 Научный форум: Технические и физико-математические науки: сб. ст. по материалам LXX междунар. науч.-практ. конф. – № 2 (70). – М.: Изд. «МЦНО», 2024. – 24 с.

ISSN 2541-8394

Статьи, принятые к публикации, размещаются на сайте научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU.

ISSN 2541-8394

ББК 22+3

© «МЦНО», 2024

Оглавление

Технические науки	4
Раздел 1. Технические науки	4
1.1. Информатика, вычислительная техника и управление	4
ИДЕНТИФИКАЦИЯ И ЛОКАЛИЗАЦИЯ УТЕЧЕК В ТРУБОПРОВОДАХ МЕТОДОМ ФИЛЬТРА ЧАСТИЦ Костандян Артур Валериевич Егоров Александр Фёдорович Сидоров Валерий Васильевич	4
1.2. Metallургия и материаловедение	14
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФЕКТОВ МАГИСТРАЛЬНЫХ И РАЗВЕТВЛЕННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ГАЗОКОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ МЕТОДАМИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ Стромкина Анна Марковна Цыганов Игорь Анатольевич	14
Физико-математические науки	19
Раздел 2. Физика	19
2.1. Физика полупроводников	19
ВЛИЯНИЕ РЕДКОЗЕМЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ЕВРОПИЯ НА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ TLINSE2-TLINEUSE2 Джафаров Мантиг Бахадур Вердиева Нурана Алишир кызы	19

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

РАЗДЕЛ 1.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

1.1. ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

ИДЕНТИФИКАЦИЯ И ЛОКАЛИЗАЦИЯ УТЕЧЕК В ТРУБОПРОВОДАХ МЕТОДОМ ФИЛЬТРА ЧАСТИЦ

Костандян Артур Валериевич

*руководитель,
ООО «КСИМАТИК»,
РФ, Москва*

Егоров Александр Фёдорович

*д-р техн. наук, проф.,
Российский химико-технологический
университет им. Д.И. Менделеева,
РФ, г. Москва*

Сидоров Валерий Васильевич

*канд. техн. наук, проф.,
РГУ нефти и газа (НИУ)
имени И.М. Губкина,
РФ, г. Москва*

IDENTIFICATION AND LOCALISATION OF LEAKS IN PIPELINES USING THE PARTICLE FILTER METHOD

Arthur Kostandyan

*Supervisor,
LLC "KSIMATIK",
Russia, Moscow*

Aleksandr Egorov

*Doctor of Technical Sciences, Professor,
D.I. Mendeleev Russian University
of Chemical Technology,
Russia, Moscow*

Sidorov Valery

*Candidate of Technical Sciences, Professor,
I.M. Gubkin Russian State
University of Oil and Gas (RGU),
Russia, Moscow*

Аннотация. В статье рассмотрено использование метода фильтра частиц в качестве для оценки режимных параметров в промежуточных точках трубопровода с помощью имеющихся измерений в конечных точках. Разница показаний между оцененными состояниями и реальными измерениями в промежуточных точках используются для обнаружения и локализации утечек в трубопроводах транспортировки природного газа.

Abstract. The paper discusses the use of the particle filter method to estimate the mode parameters at intermediate points in a pipeline using available end-point measurements. The difference in readings between the estimated states and the actual measurements at intermediate points are used to detect and localize leaks in natural gas transmission pipelines.

Ключевые слова: трубопровод, утечки, фильтр частиц, оценка состояния, локализация утечек.

Keywords: pipeline, leak detection, particle filter, state estimation, leak localization.

Введение

Существующие методы обнаружения утечек в трубопроводах, основаны на внутреннем мониторинге и методах внешнего мониторинга [3, с. 340]. Внутренние методы контролируют параметры трубопровода, используя уже установленные датчики, с другой стороны, внешние методы работают по принципу физического обнаружения утечек.

Внешние методы обеспечивают более точное определение мест утечек, но они более дорогостоящие и в большинстве случаев не могут быть установлены на старых трубопроводах. Поэтому внешние методы не используются для непрерывного мониторинга.

Внутренние методы могут быть использованы для непрерывного мониторинга с меньшими затратами, но при этом большинство из них точно не определяют место утечки.

Внутренние методы подразделяются на две группы, основанные на моделях и данных. Для первой группы требуется динамическая модель потока в трубопроводе, состоящей из нелинейных дифференциальных уравнений [1, с. 193], [4, с. 673] и решение в «закрытой» (конечной) форме отсутствует, что, в какой-то степени, является недостатком.

Методология решения задачи обнаружения утечек в газопроводе

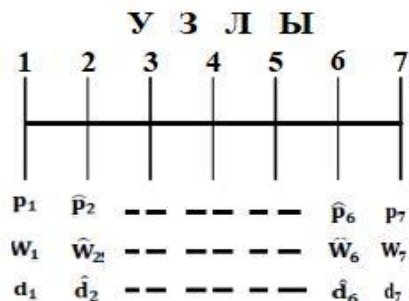
Методы, основанные на данных, также не могут локализовать место утечки, когда размер утечки мал (менее 5 процентов от номинального расхода).

Поскольку методы, основанные на данных статистического анализа, малоэффективны в переходных режимах по обнаружению и локализации небольших утечек, в статье рассматривается метод, основанный на модели переходных процессов в режиме реального времени.

Представленный подход решения проблемы обнаружения утечек сфокусирован на трубопроводах для транспортировки газожидкостных фаз. Эффективность предложенного метода показана на результатах моделирования обнаружения и локализации утечек.

Утечка обнаруживается путем сравнения оценочных (расчетных по модели) состояний фильтра частиц с имеющимися промежуточными измерениями давления.

На рис. 1 приведена укрупненная схема зондирования обнаружения утечек в трубопроводе.



**Рисунок 1. Схема зондирования обнаружении утечек
в трубопроводе**

Для упрощения предполагается, что трубопровод работает в изотермическом режиме эксплуатации, при этом уравнениями энергии и температуры в данном изложении пренебрегаются.

В большинстве случаев измерения доступны на концах трубопровода. В случае рис. 1, давление, массовый расход и плотность как в узле 1 (p_1 , W_1 , d_1), так и в узле 7 (p_7 , W_7 , d_7) доступны.

Из 6 измерений необходимы, как минимум, 4 измерения на входе-выходе и 2 измерения в качестве граничных условий для уравнений неразрывности потока, с помощью которых будут сравниваться расчетные оценки модели фильтра частиц для обновления оцененных состояний.

Целью является использование фильтра частиц для оценки параметров транспортируемого природного газа, нефти, нефтепродуктов по трубопроводу – давления, массового расхода и плотности в промежуточных узлах \hat{p}_{2-6} , \hat{W}_{2-6} , \hat{d}_{2-6} . Например, пусть W_1 и p_7 – граничные условия, а p_1 и d_1 два доступных измерения. По модели фильтра частиц оцениваются остальные 17 неизвестных состояний транспортируемой среды по трубопроводу.

Основным преимуществом фильтра частиц является достаточно точная оценка неизвестного состояния, даже если модель является сильно нелинейной, а шум негауссовым.

Основное различие между методами прогнозирования по модели и оценки с помощью ФЧ заключается в том, что в случае ФЧ, прогнозируемые состояния обновляются с помощью доступных измерений. Таким образом, оценка параметров режима трубопроводной транспортировки методом фильтра частиц более достоверна и надежна чем предсказанные по модели.

При большем количестве достоверных измерений (предположим, узлы 3 и 5), точность оценки состояния возрастает. На некоторых промежуточных узлах, в соответствии с технологией трубопроводной транспортировки углеводородной среды имеются измерения, например, давление на промежуточных насосных и клапанных станциях. Используя эти данные и возможности, фильтром частиц генерируются расчетные данные с меньшим интервалом разбиений по длине трубопровода.

При возникновении утечки изменяется профиль измерений в узлах 1 – 7. Фиксируя эти отклонения, утечка может быть обнаружена.

При возникновении утечки на участке, последующие участки трубопровода также покажут характер этого отклонения. Таким образом, сравнивая имеющиеся промежуточные измерения давления с оценкой ФЧ в промежуточных узлах, локализует участок утечки.

Фильтр частиц, как инструмент оценки профиля давления по длине трубопровода, функционирует в два этапа. На первом этапе предсказывает неизвестные состояния с помощью модели процесса. На втором этапе корректирует предсказанные состояния с помощью имеющихся измерений и восстанавливает начальное состояние для следующего узла трубопровода.

Дискретная модель используется для решения задачи фильтра частиц. При дискретизации выполняется условие Куранта-Фридрихса-Леви (КФЛ), путем принятия $C_{son} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$.

КФЛ является необходимым условием устойчивости явного численного решения некоторых дифференциальных уравнений в частных производных. Как следствие, во многих компьютерных симуляциях для получения корректных результатов, временной шаг должен быть меньше определённого значения.

Физически критерий КФЛ означает, что частица транспортируемого флюида за один шаг по времени Δt не должна продвинуться больше, чем на один пространственный шаг Δx . Или, иными словами, вычислительная схема не может корректно обчислять распространение физического возмущения, которое в реальности движется быстрее, чем вычислительная схема позволяет "отслеживать", то есть один шаг по пространству за один шаг по времени.

Выбор модели фильтра частиц

Модель представлена ниже:

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{C_{son}^2}{A} \frac{\partial W}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{1}{A} \frac{\partial W}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} \left(1 - \frac{v^2}{C_{son}^2} \frac{W^2}{A^2} \right) + 2v \frac{W}{A^2} \frac{\partial W}{\partial x} + \frac{2vW|W|}{A^2 D} f + \frac{g}{v} \sin \theta = 0 \quad (2)$$

Дискретная форма модели имеет вид:

$$p_{i,j} = \frac{1}{2} (p_{i-1,j-1} + p_{i+1,j-1}) + \frac{C_{son}}{2A} (W_{i-1,j-1} - W_{i+1,j-1}) + \\ + \Delta t \frac{C_{son} f}{A^2 D} (v_{i+1,j-1} W_{i+1,j-1} |W|_{i+1,j-1} - v_{i-1,j-1} W_{i-1,j-1} |W|_{i-1,j-1}) + \\ + \Delta t \frac{C_{son}}{2} g \sin \theta \left(\frac{1}{v_{i+1,j-1}} - \frac{1}{v_{i-1,j-1}} \right) \quad (3)$$

$$W_{i,j} = \frac{1}{2} (W_{i-1,j-1} + W_{i+1,j-1}) + \frac{A}{2C_{son}} (p_{i-1,j-1} - p_{i+1,j-1}) + \\ + \Delta t \frac{A}{2} \frac{2f}{A^2 D} (v_{i+1,j-1} W_{i+1,j-1} |W|_{i+1,j-1} + v_{i-1,j-1} W_{i-1,j-1} |W|_{i-1,j-1}) + \\ + \Delta t \frac{A}{2} g \sin \theta \left(\frac{1}{v_{i+1,j-1}} + \frac{1}{v_{i-1,j-1}} \right) \quad (4)$$

где: p – давление в трубопроводе, Па; C_{son} – скорость звука в транспортируемой среде в трубопроводе, м/с; A – площадь поперечного сечения трубопровода, м²; W – массовый расход жидкости, кг/с; f – коэффициент трения трубопровода; D – диаметр трубопровода, м; Δt – шаг по времени для выборки, с; $v = 1/d$ – удельный объем, м³/кг; d – плотность жидкости, кг/м³; g – гравитационное ускорение, м/с²; θ – угол возвышения от поверхности земли, градус; i – количество узлов пространства; j – номер временного узла.

Сжимаемость газа моделировалась с помощью следующих уравнений [2, с. 965]:

$$\frac{1}{v_{i,j}} = \frac{\frac{1}{v_0} \bar{K}_{i,j}}{\bar{K}_{i,j} - p_{i,j}} \quad (5)$$

где, $\bar{K}_{i,j} = \frac{p_{i,j} V_0}{v_0 - v_{i,j}}$ – модуль объемной упругости газа; V_0 , м³, объем газа при стандартном давлении p_0 ; $v_{i,j}$, м³, объем газа при давлении $p_{i,j}$.

Дискретная модель с утечкой может быть записана в виде:

$$p_{i,j} = \frac{1}{2} (p_{i-1,j-1} + p_{i+1,j-1}) + \frac{C_{son}}{2A} (W_{i-1,j-1} - W_{i+1,j-1} - \dot{m}_{L_{i,j}}) + \\ + \Delta t \frac{C_{son}}{2} \frac{2f}{A^2 D} (v_{i+1,j-1} W_{i+1,j-1} |W|_{i+1,j-1} - v_{i-1,j-1} W_{i-1,j-1} |W|_{i-1,j-1}) + \\ + \Delta t \frac{C_{son}}{2} g \sin \theta \left(\frac{1}{v_{i+1,j-1}} - \frac{1}{v_{i-1,j-1}} \right) \quad (6)$$

$$\begin{aligned}
 W_{i,j} = &= \frac{1}{2}(W_{i-1,j-1} + W_{i+1,j-1}) + \frac{A}{2C_{son}}(p_{i-1,j-1} - p_{i+1,j-1}) + \\
 &+ \Delta t \frac{A}{2} \frac{2f}{A^2 D} \left(v_{i+1,j-1} W_{i+1,j-1} |W|_{i+1,j-1} + \right. \\
 &\left. + v_{i-1,j-1} W_{i-1,j-1} |W|_{i-1,j-1} \right) + \\
 &+ \Delta t \frac{A}{2} g \sin \theta \left(\frac{1}{v_{i+1,j-1}} + \frac{1}{v_{i-1,j-1}} \right) - \dot{m}_{L,i,j}
 \end{aligned} \quad (7)$$

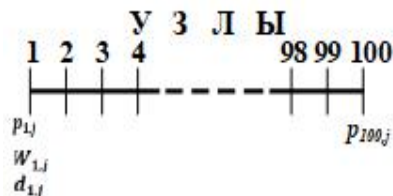


Рисунок 2. Принципиальная схема процесса моделирования

Результаты решения тестовой задачи

В соответствии со схемой моделирования, тестовая задача, рисунок 2, состоит из 100 узлов и 300 переменных: давление, массовый расход и плотность в каждом из этих узлов.

Граничными условиями являются массовый расход в узле 1 ($W_{1;j}$) и давление в узле 100 ($p_{100;j}$), два измерения – давление в узле 1 ($p_{1;j}$) и плотность в узле 1 ($d_{1;j}$). Предполагается, что 3 других измерения давления доступны в узлах 25, 50 и 75.

Было выявлено два значительных несоответствия между моделируемой системой труб и прогнозной моделью ФЧ.

Неравные начальные условия были первым несоответствием. Неопределенность параметров процесса была вторым несоответствием.

Неопределенность параметров процесса моделировались наложением гауссовского белого шума на параметры процесса.

В данном исследовании трубопровод моделировался с помощью комбинации уравнений (3), (4) и (5). В качестве рабочей среды для моделирования был выбран природный газ. Таким образом, физико-химические свойства были использованы в уравнениях (3) и (4).

В реальности массовый расход не является постоянным в условиях отсутствия утечек, для простоты предполагаем его постоянным с некоторым наложенным шумом. Аналогичные упрощения были сделаны для давления и плотности. В представленной имитационной модели не рассматриваются непредсказуемые или внезапные изменения.

Установлено, что коэффициент трения (f) является наиболее важным параметром настройки имитационной модели для сходимости расчетного профиля давления с реальным (истинным). Относительно большая шероховатость предполагается для рассмотрения старых трубопроводов, которые обычно часто встречаются в реальности.

На моделируемые данные налагается шум, которые будут использоваться в качестве измерений и граничного значения.

ФЧ используется для оценки неизвестных параметров состояния. Для проверки эффективности ФЧ рассматриваются узлы 25, 50 и 75.

Неиспользованные измерения давления в узлах 25, 50 и 75 используются для обнаружения и локализации утечки. Есть два тестовых случая: а) утечка была введена в узле 40, выборочное время 450 секунд и б) утечка была введена в узле 75 при времени выборки 450 секунд).

Отклонение определяется как отношение разности между измеренными и оцененными фильтром частиц к величине измеренной, в процентах. При отклонении между расчетным значением и реальным измерением, не превышающий заданный допустимый порог, утечка отсутствует.

Это отклонение больше в районе места утечки. Таким образом, координата утечки находится между двумя узлами с большими значениями отклонения.

Сравнение осуществляется как по давлению, так и по скорости утечки – сравнением массовых расходов в конечном узла. Как правило, массовый расход доступен в конечном узле газопровода.

Были проведены расчеты профилей давления, массового расхода и плотности. Было смоделировано в общей сложности 500 образцов по времени с частотой выборки 1 с. Таким образом, общее время моделирования составило 500 с.

В данном разделе рассматривается моделируемый участок магистрального газопровода длиной 34 км, с диаметром 1400 мм.

На выходе КЦ1 давление природного газа на входе в газопровод $P_{вх} = 6,9$ МПа в конце газопровода $P_{вых} = 5,54$ МПа на входе в КЦ2. Для целей моделирования трубопровод был разделен на 100 равных участков (100 узлов).

Принципиальная схема процесса моделирования представлена на рис. 2.

Моделирование проводилось при полной загрузке газопровода в соответствии с исходными данными и оргниченными по загрузке режимом.

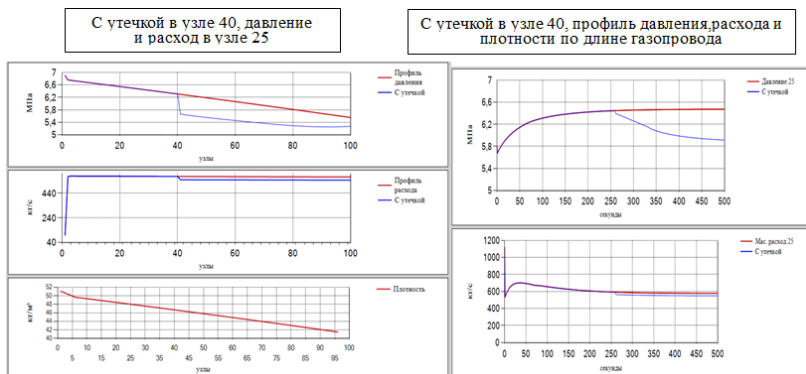


Рисунок 3. Результаты моделирования по узлам газопровода при полной загрузке

В таблице представлены расчетные режимные параметры в конце газопровода с утечкой и без утечки в зависимости от уклона.

Таблица 1.

Изменение режимных параметров в конце газопровода в зависимости от уклона

№.№	Уклон, градус	P, МПа		Q, м ³ /с		W, кг/с	
		без утечки	с утечкой	без утечки	с утечкой	без утечки	с утечкой
1	0	5,6	5,26	762,31	701,36	571,73	545,61
2	1	5,62	5,27	830,95	769,90	623,21	597,05
3	2	5,63	5,29	894,60	833,53	671,00	644,80
4	3	5,64	5,30	954,34	893,13	715,75	689,52

Закключение

В статье представлено применение фильтра частиц для обнаружения утечек в трубопроводах. Результаты моделирования показывают, что фильтр частиц хорошо отражает динамику реальной системы и может служить в качестве программного обеспечения – «мягкого» («виртуального») датчика реальной системы.

Предложенная система может эффективно обнаруживать утечки. Хотя локализация утечки еще не является точной, она может, по крайней мере, изолировать минимально возможный участок трубопровода, в котором предположительно имеется утечка.

Список литературы:

1. Geiger, G. (2006). State-of-the-art in leak detection and localization. *Oil Gas European Magazine*, 32(4), 193.
2. Hayward, A.T.J. (1967). Compressibility equations for liquids: a comparative study. *British Journal of Applied Physics*, 18(7), 965.
3. Stafford, M., Williams, N., and Britain, G. (1996). Pipeline leak detection study. HSE Books.
4. Verde, C. (2001). Multi-leak detection and isolation in fluid pipelines. *Control Engineering Practice*, 9(6), 673–682.

1.2. МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФЕКТОВ МАГИСТРАЛЬНЫХ И РАЗВЕТВЛЕННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ГАЗОКОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ МЕТОДАМИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Стромкина Анна Марковна

*магистрант,
Липецкий государственный
технический университет,
РФ, г. Липецк*

Цыганов Игорь Анатольевич

*канд. техн. наук, доц.,
Липецкий государственный
технический университет,
РФ, г. Липецк*

DETERMINATION OF DEFECTS IN MAIN AND BRANCHED PIPELINES OF GAS COMPRESSOR STATIONS BY NON-DESTRUCTIVE TESTING METHODS

Anna Stromkina

*Master's student,
Lipetsk state technical University,
Russia, Lipetsk*

Igor Tsyganov

*Candidate of Science, associate Professor,
Lipetsk State Technical University,
Russia, Lipetsk*

Аннотация. Проанализированы методы неразрушающего контроля дефектов стальных труб в технических установках и газоперекачивающих станциях. Проанализирована вероятность обнаружения дефектов различной формы и влияние внешних факторов на процесс обнаружения. Результаты показали, что увеличение количества дефек-

тов в газоперекачивающих агрегатах и трубах не зависит от времени эксплуатации. Ухудшения механических свойств в результате старения не наблюдалось. Режим работы оборудования также не оказывает существенного влияния на количество дефектов.

Abstract. The methods of non-destructive testing of steel pipe defects in technical installations and gas pumping stations are analyzed. The probability of detecting defects of various shapes and the influence of external factors on the detection process are analyzed. The results showed that the increase in the number of defects in gas pumping units and pipes does not depend on the operating time. Deterioration of mechanical properties as a result of aging was not observed. The operating mode of the equipment also does not significantly affect the number of defects.

Ключевые слова: контроль, труба, исследование, вихревые токи, профиль, металл, дефекты, дефекты сварных труб, метод, термообработка, виды неразрушающего контроля, основные дефекты.

Keywords: inspection, pipe, investigation, eddy currents, profile, metal, defects, defects of welded pipes, method, heat treatment, types of non-destructive testing, main defects.

Неразрушающий метод контроля значительно упрощает процедуру оценки качества и отбраковки.

Вихретоковый метод неразрушающего контроля, в отличие от других известных неdestructивных методов оценки качества изделий, имеет ряд преимуществ. Этот метод позволяет производить контроль качества на непрерывном производстве.

Анализ литературных источников показывает, что в настоящее время продолжают исследования в данной области, раскрываются новые свойства этого метода, в результате чего повышается уровень контроля качества [1; 2; 3].

Использование неразрушающих методов контроля без повреждения деталей технологического оборудования позволяет оценить обнаруженные в процессе диагностирования дефекты и решить являются ли они металлургическими или возникли в процессе изготовления и эксплуатации. Приборы, используемые для неразрушающего контроля, обладают высокими качественными характеристиками и удачно выявляют большинство существующих дефектов и отличаются относительно невысокой стоимостью.

В связи с этим актуальной задачей, имеющей как теоретическую, так и практическую ценность, является дальнейшее изучение вихрето-

кового метода неразрушающего контроля и повышение уровня оценки качества производимой продукции.

Целью нашего исследования являлось изучение и улучшение методики неразрушающего вихретокового обнаружения дефектов в изделиях трубного производства, используемого газоперекачивающего оборудования с помощью вихретокового дефектоскопа. Также перед авторами настоящей статьи стояла задача – изучить дефекты в основном металле и изменение механических свойств за счет изнашивания, влияние режимов эксплуатации на возникновение дефектов технологического оборудования, зависимость увеличения количества дефектов в газоперекачивающих аппаратах от продолжительности эксплуатации.

По нашему мнению, метод вихревых токов наиболее подходит для исследований подобного рода.

Вихревые токи в металлах возникают в результате воздействия переменного или бегущего электромагнитного поля. Поскольку источником и преобразователем электромагнитного поля является катушка индуктивности (индуктор), такие устройства часто называют индуктивными.

При взаимодействии «перемещающихся» вихревых токов с дефектом возникает модуляционный эффект. В этом случае о наличии и характере повреждения судят по величине или форме огибающего (продетектированного) сигнала.

Принцип действия вихретокового дефектоскопа основан на анализе результирующего магнитного поля, создаваемого трубой при воздействии на нее эталонным магнитным полем. Результирующее магнитное поле создается вихревыми токами, поэтому метод и назван вихретоковым. Если в контролируемой трубе отсутствуют изъяны, то результирующее поле совпадает с эталонным по амплитуде и фазе. Как только появляется дефект, магнитное поле, создаваемое трубой, начинает искажаться, и на выходе прибора появляется полезный сигнал, говорящий о наличии неисправности.

Учитывая процессы изнашивания и старения газотранспортного оборудования, необходимо определять техническое состояние каждого отдельно взятого узла, объекта для установления их пригодности к дальнейшей эксплуатации, ресурса исправной работы, необходимости техобслуживания и ремонта.

На современном этапе развития газотранспортной системы возникла необходимость определения технического состояния каждого отдельно взятого ГПА, узла, объекта для установления их пригодности к дальнейшей эксплуатации, а также необходимости техобслуживания и ремонта.

Для решения поставленных задач применяется одно из направлений науки и техники – техническая диагностика – изучающая теорию, методы и средства определения технического состояния технологического оборудования КС.

Технология проведения ТД обеспечивает своевременное обнаружение и идентификацию всех недопустимых дефектов. Она разрабатывается на основе накопленного опыта проведения дефектоскопии, статистики распределения дефектов по типам, величине и местоположению, по уже существующим нормам оценки качества.

Трещина усталостная – самый опасный и коварный тип дефекта. Возникает в основном в процессе длительного воздействия динамических и статических сил, а также понижений вибрационной надежности лопатки (обычно образуется на выходной кромке пера лопатки), развивается вглубь под действием её колебаний.

Трещина то закрывается, то раскрывается, вследствие чего происходит смятие и притирание поверхностей излома. Когда ослабление лопатки трещиной в поперечном сечении достигает значения, при котором она не может сопротивляться действующим нагрузкам, происходит полное разрушение оставшейся целой части лопатки.

Следующей болезнью ГТУ следует отметить большое количество контактно-механических повреждений (вмятин, забоин), которые являются дополнительными концентраторами напряжений с последующим развитием трещин.

В процессе эксплуатации трубопроводных обвязок КС происходит коррозионно-эрозионный износ стенок отводов и тройников.

Диагностирование технического состояния является необходимым мероприятием для своевременного выявления и устранения дефектов, способных привести к аварийным ситуациям, целесообразность и важность его систематического применения несомненны.

Выводы. Обобщая полученные в результате технического диагностирования газотранспортного оборудования данные, можно сделать следующие выводы.

По показаниям приборов можно различать типы дефектов – трещина, забоина, точечная коррозия и т.д.

Не наблюдается зависимости увеличения количества дефектов в газоперекачивающих аппаратах от продолжительности эксплуатации.

Не отмечены ухудшения механических свойств за счет старения.

Режимы эксплуатации также не оказывают существенного влияния на их дефектность.

Список литературы:

1. Громов Л. Технология производства стальных электросварных труб. – 19.05.2021. – 24 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://fgpip.ru/svarka/tehnologiya-proizvodstva-stalnyh-elektrosvarnyh-trub.html?ysclid=lrw3ibehv1411701792> (дата обращения: 12.01.2024).
2. Гумаров А. Все про стальные трубы: обзор технических характеристик и монтажных нюансов. – 11.01.2019. – 19 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sovet-ingenera.com/santeh/tools/stalnye-truby.html?ysclid=lrw30w58c4997783539> (дата обращения: 12.01.2024).
3. Серебряков А.В., Павлов Д.А. Технология производства сварных труб: учеб. пособие. – Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2020. – 104 с.

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

РАЗДЕЛ 2.

ФИЗИКА

2.1. ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ

ВЛИЯНИЕ РЕДКОЗЕМЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ЕВРОПИЯ НА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $TlIn_{1-x}Eu_xSe_2$ - $TlIn_{1-x}Eu_xSe_2$

Джафаров Мантиг Бахадур

*д-р физ.-мат. наук, профессор,
Азербайджанский технологический
университет,
Азербайджан, г. Гянджа*

Вердиева Нурана Алишир кызы

*диссертант
Гянджинский Государственный
Университет,
Азербайджан, г. Гянджа*

Аннотация. Твердые растворы, содержащие лантаноиды, обладающие достаточно высокой температурой плавления, высокой механической прочностью, сохраняя полупроводниковые свойства даже при высоких температурах, являются соединениями с высокой термоэлектрической эффективностью. Твердые растворы и соединения систем $TlIn_{1-x}Eu_xSe_2$ являются перспективными материалами, позволяющими изготавливать элементы памяти со стабильными параметрами, работающими в диапазоне температур 80 – 400 К. Эти материалы могут также использоваться в качестве эффективного материала в термо-

электрических преобразователях, работающих в температурном интервале 100-400 К.

Ключевые слова: свойства электрона; теплопроводность; термоэлектрических свойства; электропроводности,

Целью настоящей работы является изучение особенностей образования структуры соединений и твердых растворов систем $TlIn_{1-x}Eu_xSe_2$, определение их электрических и термоэлектрических свойств. С этой целью нами была разработана технология синтеза и выращивания монокристаллов соединений системы $TlInSe_2-TlEuSe_2$, получены монокристаллы легированных атомами Eu соединений $TlIn_{1-x}Eu_xSe_2$ с составом $x = 0,01; 0,02; 0,03$ ат. %. В интервале температур 80-600 К исследованы температурные зависимости электропроводности, термоэ.д.с., теплопроводности, коэффициента Холла твердых растворов $TlIn_{1-x}Eu_xSe_2$ исследованы взаимодействия в системах $TlInS_2-TlEuSe_2$, установлено, что в них четверное соединение также кристаллизуется в тетрагональной сингонии [1, с.23, 2, с.1184].

Изучение тепловых свойств соединений твердых растворов типа $A_{III}B_{III}C_{VI}$ – даёт информацию о химическом и структурном строении кристаллов, о природе дефектов решётки, о термоэлектрических свойствах бинарных систем [3, с. 310].

В работе исследуется полученный методом Бриджмена образец монокристалла $TlIn_{0,9}Eu_{0,1}Se_2$, который подвергался термическому старению в специальном температурном режиме. Было изучено теплопроводность кристалла при температуре 100-600 К. Было определено, что изменение коэффициента теплопроводности кристалла твердого раствора $TlInSe_2$ в широком интервале. Температур подчиняется закону $\chi=T^{-1}$. Такая зависимость подтверждает реобладание механизма трех фононного рассеяния в процессе переноса тепловой энергии кристалла [3, с.352].

Только для некоторых кристаллов наблюдается эта закономерность при низких температурах. Одной из причин такого отклонения может быть увеличение возмущения оптических фононов при изменении температуры. В этом случае увеличивается роль оптических фононов в процессе переноса тепловой энергии и появляются новые механизмы теплопроводности. При этом увеличивается рассеяние акустических и оптических фононов от узлов кристаллической решетки. В результате проведенных исследований было выявлено, что добавление определенного процентного количества редкоземельного металла Eu в состав кристалла твердого раствора $TlInSe_2$ влияет на

значение теплопроводности и на характер зависимости коэффициента теплопроводности от температуры. Было определено, что в исследуемом кристалле твердого раствора теплопроводность электронов пренебрежительно мала. И в процессе переноса тепла участвуют в основном фононы [4, с. 150]. В температурном интервале 100-600 К наблюдается уменьшение коэффициента теплопроводности при увеличении температуры. Это уменьшение при 80-300 К подчиняется закону $\chi = T^{-1}$, дальнейшем это уменьшение ослабевает. Такая зависимость теплопроводности от температуры соответствует процессу трех фононного рассеяния в кристалле.

Наиболее эффективным методом для выращивания однородных монокристаллов $TlIn_{1-x}Eu_xSe_2$ в частности, является метод зонной плавки. Выращивание кристаллов проводилось в откачанных до остаточного давления 0,133 Па и запаянных кварцевых ампулах. Длина расплавленной зоны составляла 5-15 мм, ампула продвигалась со скоростью 6-20 мм/ч.

Полученные указанным выше способом кристаллы $TlIn_{1-x}Eu_xSe_2$ имели форму прямоугольную параллелепипеда и обладали тетрагональной структурой с параметрами кристаллической решетки $a=8,061 \text{ \AA}$, $c = 6,822 \text{ \AA}$. Концентрации носителей заряда составляла $2,5 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-3}$. Для исследования электрических свойств образцы снабжались омическими контактами. В качестве материала для токопроводящих контактов использовались индий и серебряная паста.

В интервале температур 100 – 600 К исследованы температурные зависимости электропроводности, термо-э.д.с., теплопроводность, коэффициента Холла твердых растворов $TlIn_{1-x}Eu_xSe_2$ различного состава с $x = 0,01$; $0,02$ и $0,03$. Образцы были изготовлены в виде параллелепипеда с размерами $8 \times 5 \times 4 \text{ мм}^3$, измерения электропроводности и термо-э.д.с. проводились вдоль слоев монокристаллов. Измерения показали, что все образцы в исследованном интервале температур обладают проводимостью р-типа.

На рисунке показана температурная зависимость электропроводности $I_{\sigma} = f(10^3/T, \text{ K}^{-1})$ монокристалла твердого раствора $TlIn_{1-x}Eu_xSe_2$. В низкотемпературной части кривых наблюдается примесная проводимость, а в интервале $\sim 400 - 550 \text{ K}$ проявляется собственная проводимость.

Из наклона высокотемпературной части температурной зависимости электропроводности была определена ширина запрещенной зоны. Для исследованных образцов $TlIn_{1-x}Eu_xSe_2$ с $x=0,01$; $0,02$ и $0,03$ ширина запрещенной зоны составляет соответственно $\Delta E = 2,10$; $1,95$ и $1,80 \text{ эВ}$.

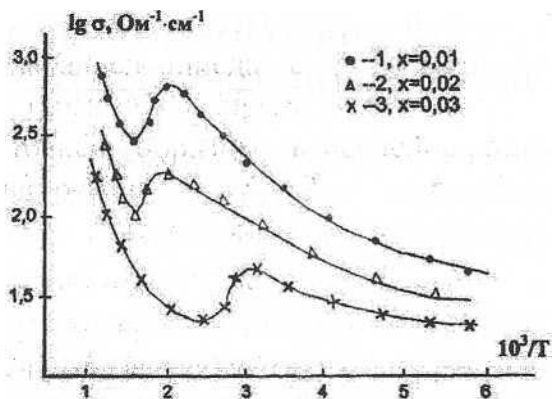


Рисунок. Температурная зависимость электропроводности кристаллов твердого раствора $TlIn_{1-x}Eu_xSe_2$ различного состава

Как видно из рисунка, в твердых растворах $TlIn_{1-x}Eu_xSe_2$ до температуры ~ 400 К электропроводность продолжает расти с очень малым наклоном. Такая зависимость при низких температурах связана с проводимостью по примесной зоне и называется квазиметаллическим ходом. Вслед за этой частью наблюдается относительно резкое уменьшение электропроводности и это снижение ощущается более остро с увеличением в составе количества европия. Причиной этого является истощение примесных центров и в результате постоянство концентрации носителей заряда. При этом вследствие рассеяния носителей на колебаниях кристаллической решетки уменьшается их подвижность, а это в конечном счете приводит к тому, что с ростом температуры электропроводность уменьшается. При дальнейшем увеличении температуры наблюдается область собственной проводимости с экспоненциальным ростом электропроводности. При достаточно высоких температурах тепловая энергия носителей заряда позволяет им преодолевать запрещенную зону. Что касается термо-э.д.с., то с увеличением температуры величина термо-э.д.с. сначала растет по абсолютной величине и достигает максимума, а затем при дальнейшем росте температуры постепенно уменьшается с появлением собственной проводимости.

Список литературы:

1. Marahashli M., Yukes N.S. Determination of trapping center parametrs of $TlInGaS_4$ layered crystals by thermally stimulated current measurements // J.of. Alloys and Compounds. – 2006. V. 417.-No. 1-2,-p. 23.

2. Годжаев Э.М., Аллахяров Э.А., Назаров А.М. Акустофотовольтаический эффект в монокристаллах $TlInSe_2$, $TlInTe_2$, $TlGaTe_2$ // Неорган. Материалы, - 2007,- Т. 43.- № 10. С. 1184.
3. Керимова Э.М. Кристаллофизиканизкоразмерных халькогенидов БАКУ: «Элм», 2012. Стр.708
4. Зарбалиев, М.М., Гахраманов, Н.Ф., Ахмедова, А.М., Магеррамов, А.Б. Твердые растворы замещения в системе $TlInSe_2$ - $TlYbSe_2$ //Известия А.Н Азерб.Респуб.серии физ-мат.и техн.наук. -2010. №5. с.149-155.

**НАУЧНЫЙ ФОРУМ:
ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ**

*Сборник статей по материалам LXX международной
научно-практической конференции*

№ 2 (70)
Февраль 2024 г.

В авторской редакции

Подписано в печать 05.02.24. Формат бумаги 60x84/16.
Бумага офсет №1. Гарнитура Times. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 1,5. Тираж 550 экз.

Издательство «МЦНО»
123098, г. Москва, ул. Маршала Василевского, дом 5, корпус 1, к. 74
E-mail: tech@nauchforum.ru

Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленного
оригинал-макета в типографии «Allprint»
630004, г. Новосибирск, Вокзальная магистраль, 1



**НАУЧНЫЙ
ФОРУМ**
nauchforum.ru