

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ УТЕЧЕК ИЗ НЕФТЕПРОВОДОВ

USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS WHEN DETERMINING LEAKS FROM OIL PIPELINES

*T. Mamonova
A. Sidorova*

Summary. In this work the mathematical equations describing change of pressure in the pipeline are presented. Transitional characteristics of settlement pressure in a pipe are shown at various coordinates of leak. Use of artificial intelligence methods, such as expert systems and neural networks for determination of leak coordinate from the oil pipeline is specified. The neural network by means of the GUI interface and visual application of Simulink of a MatLab packet for leak position fix is built. For a research of optimum position of the pressure sensor on the pipeline in the MatLab program the expert system is constructed.

Keywords: Oil pipeline; artificial intelligence methods; leak from the oil pipeline; pressure in pipe, neural network, static expert system.

Мамонова Татьяна Егоровна

*К.т.н., доцент, ФГАУ ВО Национальный
исследовательский Томский политехнический
университет
mamte@sibmail.com*

Сидорова Анастасия Александровна

*Ассистент, ФГАУ ВО Национальный
исследовательский Томский политехнический
университет
sidorova@tpu.ru*

Аннотация. В данной работе представлены математические уравнения, описывающие изменение давления в трубопроводе. Показаны переходные характеристики расчетного давления в трубе при различных координатах утечки. Указано использование методов искусственного интеллекта, таких как экспертные системы и нейронные сети для решения задач определения утечек из нефтепровода. Построена нейронная сеть с помощью GUI-интерфейса и визуального приложения Simulink пакета MatLab для определения местоположения утечки. Для исследования оптимального положения датчика давления на трубопроводе в программе MatLab построена экспертная система.

Ключевые слова: Нефтепровод, методы искусственного интеллекта, утечка из нефтепровода, математическая модель, давление в трубе, нейронная сеть, статическая экспертная система.

Сейчас всё больший интерес приобретает интеллектуальный подход к решению любых задач, поставленных на производстве. Задача же разгерметизации трубопроводов перекачки нефтепродуктов очень сложна, многообразна и вбирает в себя большое количество дополнительных подзадач.

Известно, что по данным «Транснефти», всего в период с 2003 по 2012 гг. на объектах компании было выявлено 4779 несанкционированных врезок в магистральные нефтепроводы. В 2012 г. таких случаев было зафиксировано 180, в 2011 г. — 214, а в 2010 г. — 313 [1]. Так же по данным информационного агентства Au92, ущерб от хищений нефтепродуктов из трубопроводов на территории только Санкт-Петербурга и Ленинградской области в 2014 году составил более 710 тонн дизельного топлива стоимостью более 17,5 млн. руб. [2] По данным информационного агентства Regnum, в 2016 г. сразу две несанкционированные врезки в магистральный нефтепровод «Кириши-Приморск» найдены на территории Всеволожского и Киришского районов Ленинградской области. [3]

Таким образом, задача разработки системы определения утечек и несанкционированных отборов из нефте-

проводов сегодня является актуальной. Такая система должна оперативно, точно и наиболее полно предоставлять информацию о повреждении трубы. Наилучший вариант решения данной задачи — это использование методов искусственного интеллекта при обработке данных.

Рассмотрим линейный участок трубопровода, пролегающий между двумя нефтеперекачивающими станциями (рис. 1).

На обеих станциях поддерживается постоянное давление, необходимо для перекачки жидкости и равное P_H и P_K для нефтеперекачивающей станции 1 (PS1) и нефтеперекачивающей станции 2 (PS2) соответственно. Ближе к концу трубопровода располагается датчик давления с координатой x , фиксирующий спад давления. В случае использования упрощённой линейной модели и отсутствия утечки, давление на датчике постоянно. Имеет место отклонение давления с допустимой погрешностью, связанное только с наличием гидравлического шума. Тогда профиль давления по длине трубопровода представляет собой линейную функцию.

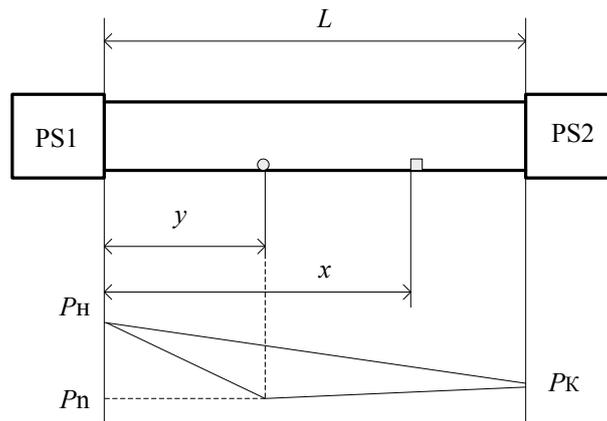


Рис. 1. Схема линейного участка нефтепровода

Когда появляется утечка, то по всему участку трубопровода, пролегающему между нефтеперекачивающими станциями, происходит спад давления. В профиле давления появляется прогиб в месте с координатой, соответствующей месту утечки, а давление на датчике понижается на величину, зависящую от размера и координаты утечки. Тогда по контролируемому значению давления на датчике, расположенном по длине нефтепровода с использованием одного из методов искусственного интеллекта — нейронной сети, можно определить координату утечки на нефтепроводе.

Для определения изменения давления вдоль трубопровода используется модель объекта [4]:

$$P_1 = P_H - \frac{(P_H - P_K)x}{l} - \frac{2aG_T}{lF}(l - y)x + \sum_{n=1}^{\infty} C_n \sin \frac{n\pi \cdot x}{l} \exp \left[- \left(\frac{n\pi}{l} \right)^2 \frac{C^2}{2a} t \right],$$

при $0 < x < y$;

$$P_2 = P_H - \frac{(P_H - P_K)x}{l} - \frac{2aG_T}{lF}(l - x)y + \sum_{n=1}^{\infty} C_n \sin \frac{n\pi \cdot x}{l} \exp \left[- \left(\frac{n\pi}{l} \right)^2 \frac{C^2}{2a} t \right],$$

при $y < x < l$;

$$C_n = \frac{4aG_T l}{\pi^2 n^2 F} \sin \frac{n\pi \xi}{l},$$

$$2a = \frac{\lambda w}{2d},$$

где P_1, P_2 — давление в трубе перед и после места утечки, соответственно, Па; P_H, P_K — давления, соответственно, в начале и на конце участка трубопровода, Па; t — время, с; x, l, d — координата по длине трубопровода, длина и внешний диаметр трубы, м; F — площадь трубы, м²; C — скорость волны давления м/с, G_T — массовый расход утечки, кг/с; λ — коэффициент сопротивления трубопровода; w — скорость движения нефтепродукта, м/с, y — координата утечки, м.

Массовый расход утечки принят постоянным и равен $G_T = 35$ кг/с. Время переходного процесса установлено в [5] и равно 5 секунд. Давление фиксируется преобразуется по формуле:

$$\Delta P_{In} = P_{In} - P_k, \tag{2}$$

где ΔP_{In} — расчетное значение давления, Па; P_{In} — значение давления в месте расположения датчика при утечке с координатой y_n , Па; n — количество утечек, происшедшее на трубопроводе; $n = 1, 2, \dots N$; P_k — значение давления на датчике при отсутствии утечки, Па.

При проведении исследования использовались следующие значения [6]: $P_H = 2941995$ Па, $P_K = 1961330$ Па, $D = 0,72$ м, $C = 975$ мс⁻¹, $2a = 0,018$ с⁻¹, $L = 30000$ м, $x = 29500$ м.

На основании уравнений (1) был проведён модельный эксперимент. В итоге получены переходные характеристики расчетного давления для утечек, образованных в различных координатах нефтепровода (рис. 2).

По графикам можно определить, что время переходного процесса составляет 5 с. Чем ближе утечка находится к месту установки датчика давления, тем большее значение изменения давления фиксируется системой.

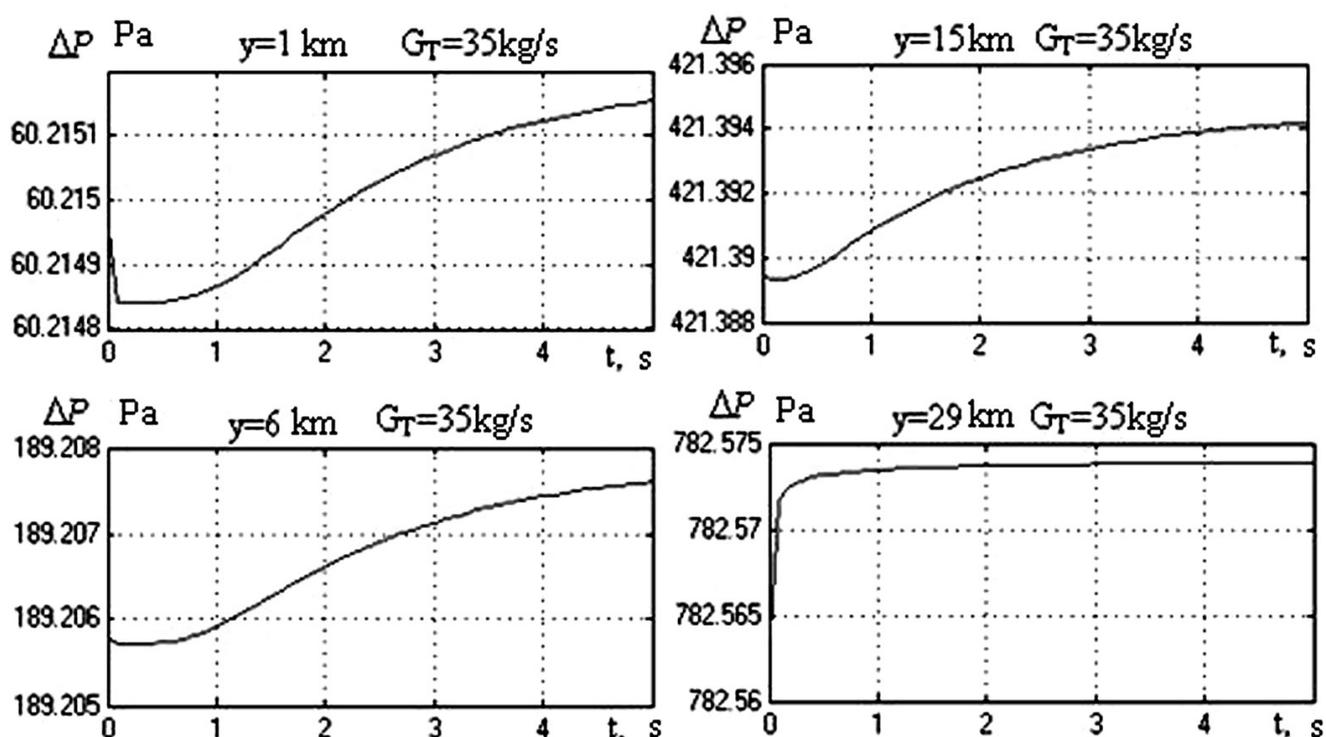


Рис. 2. Переходные характеристики расчетного давления

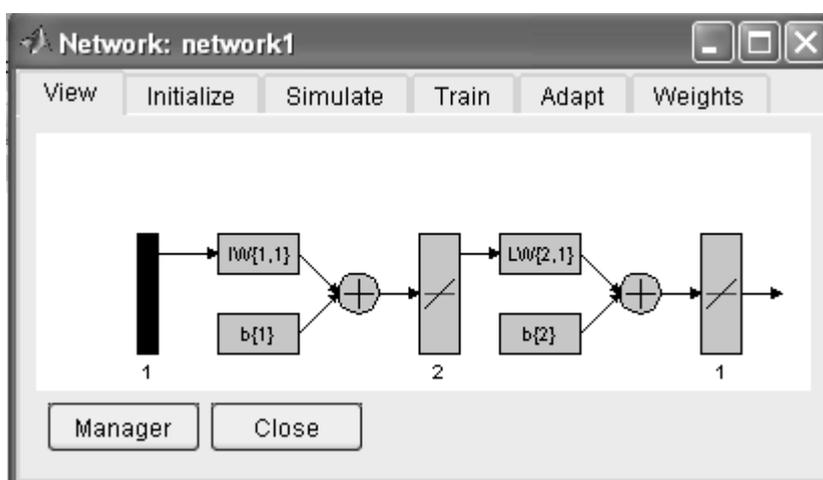


Рис. 3. Структура нейронной сети

Для определения утечки используется аппарат нейросетевого моделирования. При этом взята классическая слоистая нейронная сеть — сеть прямого распространения сигнала и обратным распространением ошибки (Feed-forward backprop). Проведен ряд экспериментов, в итоге чего выбрана структура в соответствии с [7] и представлена на рис. 3. Как видно по схеме, в состав выбранной нейронной сети входят два слоя, первый слой состоит из двух нейронов, второй — из одного, функция активации — линейная.

Для обучения сети принято брать установившиеся значения переходных процессов, которое составляет 5 с.

Для построения и обучения указанной нейронной сети был применён GUI-интерфейс программной среды MatLab и его визуального приложения Simulink. Данный графический интерфейс позволяет, не обращаясь к командному окну системы MatLab, выполнять создание, обучение, моделирование, а так же импорт и экспорт нейронных сетей и данных в Simulink, используя только

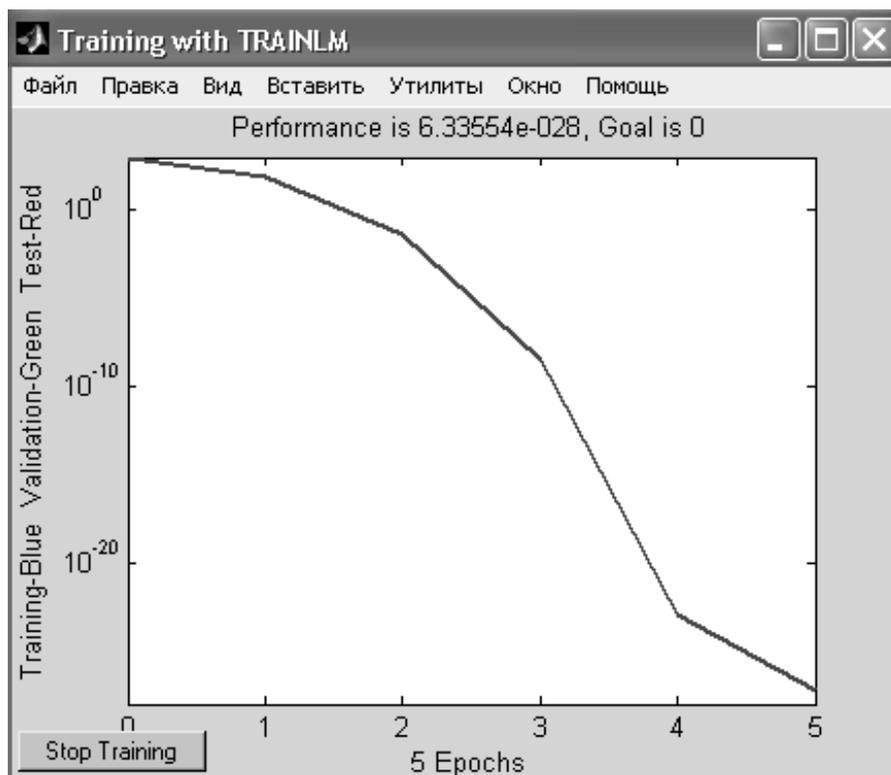


Рис. 4. Отображение ошибки сети в процессе обучения

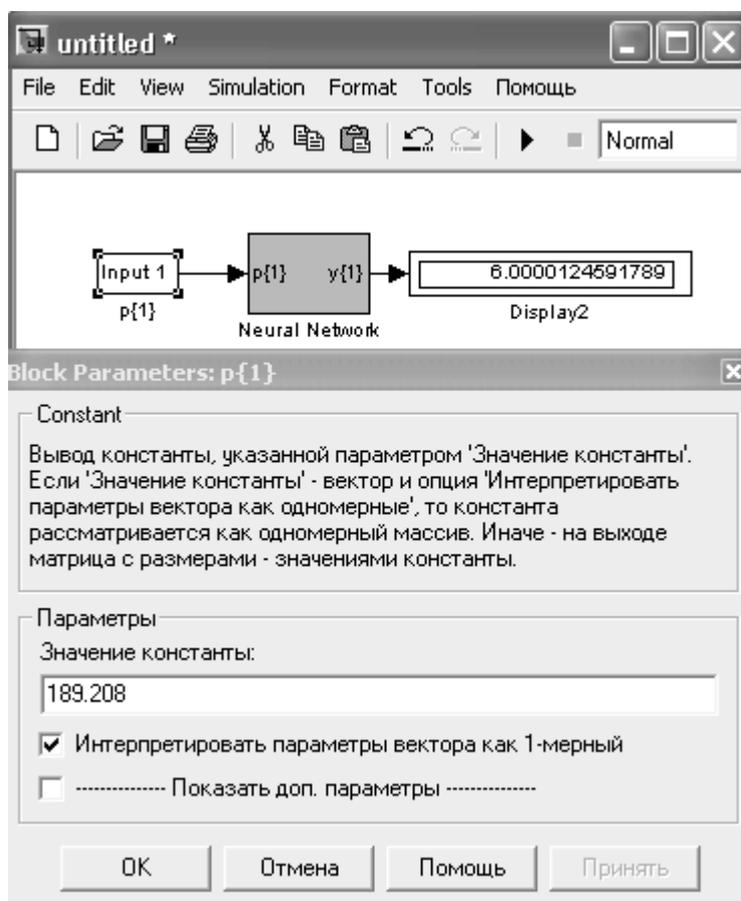


Рис. 5. Результат тестирования сети

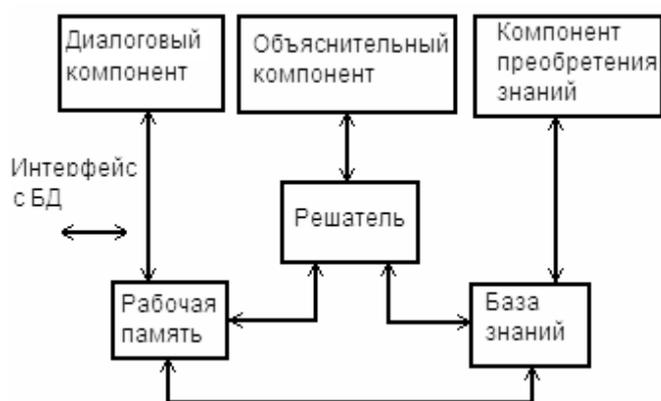


Рис. 6. Структура статической экспертной системы

инструментальные возможности GUI-интерфейса [3]. Обучение проводилось для случаев, когда утечка возникла в местах с координатами $y_1 = 1000$ м и $y_2 = 29000$ м.

Отображение ошибки сети при обучении показано на рис. 4.

По графику видно, что сеть добивается значения ошибки близкой к нулю $\epsilon = 6,336 \cdot 10^{-28}$ за 5 эпох.

Для проверки работы сети взята переходная характеристика при наличие утечки с координатой $y = 6000$ м (рис. 4). Значение расчетного давления при $t = 5$ с. подавалось на вход сети. Результат работы сети представлен на рис. 5.

По данным, отображённым на рис. 5 можно определить, что ошибка определения координаты утечки составляет $e = 0,0002\%$.

Определение наилучшего местоположения датчика давления

В представленной работе рассматривается задача определения местоположения датчика давления с учетом погрешности его измерений с применением одного из методов искусственного интеллекта — экспертной системы.

По данным, рассмотренным в [8] — [10], у современных датчиков, располагаемых на нефтепроводах, наименьшая погрешность измерения равна 0,1% от верхнего предела измерения (ВПИ).

Расчёты проводились для взятых ранее значений коэффициентов, длины и диаметра трубопровода, а также давления в начале и конце трубы при помощи программного пакета MatLab 7. Зависимость изменения давления

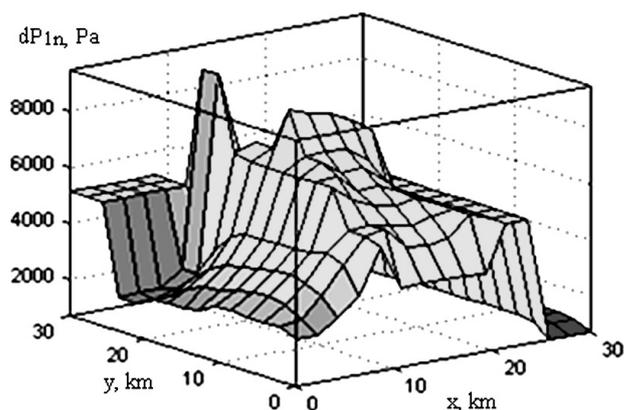


Рис. 7. Поверхность изменения $\Delta P_{in}(y, x)$

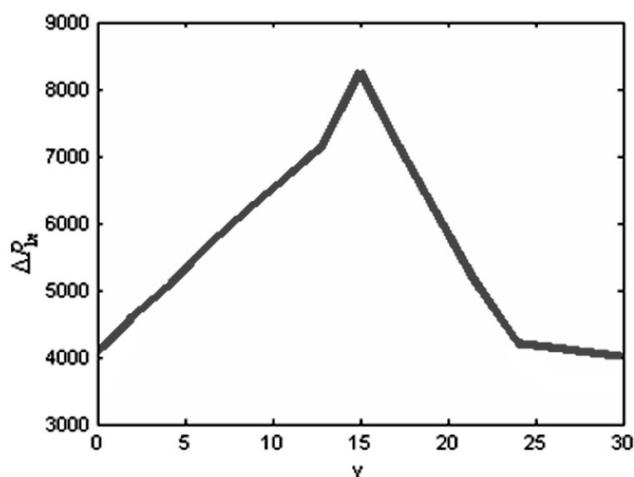


Рис. 8. График зависимости $\Delta P_{in}(y)$ при $x = 15$ км

от координат датчика и утечки была построена с помощью статической экспертной системы, представленной на рис. 6 [11].

База данных (рабочая память) была заполнена значениями изменения давления на трубопроводе для утечек с координатами 5000 м, 10000 м, 15000 м, 25000 м. С помощью решателя, использующего исходные данные из рабочей памяти, знаний из базы знаний и формирующего последовательность правил, была построена поверхность изменения расчетного давления от координат утечки и датчика давления, показанная на рис. 7.

По графику, представленному на рис. 4, можно определить: для всех значений координаты утечки с учетом погрешности измерений для рассматриваемого объекта, наилучшее местоположение датчика давления в месте с координатой $x = 15000$ м.

Срез поверхности по прямой с координатой $x = 15000$ м дал график изменения расчетного давления от координаты утечки, представленный на рис. 8.

Вид последнего графика показывает, что при расположении датчика давления на трубопроводе в точке с координатой 15000 м, датчик будет реагировать на изменения давления при утечке в любой точке трубопровода.

Выводы

В представленной работе было выполнено следующее.

1. Построены переходные характеристики для обучения нейронной сети, где давления рассчитываются при постоянном значении расхода GT .
2. Выбран тип сети — сеть прямого распространения сигнала и обратным распространением ошибки;
3. Составлена и обучена сеть для определения координаты утечки в МН в GUI-интерфейсе программ-

ного пакета MatLab 6.5 и визуального приложения MatLab — Simulink;

4. При проверке работы нейронной сети получен результат определения утечки с погрешностью $e = 0,0002\%$.
5. Выбрана экспертная система, как метод искусственного интеллекта для решения задачи определения наилучшего местоположения датчика давления при обнаружении утечки в нефтепроводе.
6. Построена поверхность изменений переходных характеристик датчика давления от координат утечки и местоположения датчика.
7. Найдено местоположение датчика давления, при котором изменение его показаний лежит в допустимом диапазоне с точки зрения чувствительности датчиков, используемых на трубопроводах.
8. Установлено, что при уменьшении величины расхода утечки GT будут уменьшаться и значения изменений $\Delta P_{In}(y, x)$, что приведёт к их попаданию в зону нечувствительности датчика.

ЛИТЕРАТУРА

1. Забелло Елена. Нефть в России стали воровать в промышленных масштабах // РБК. 2013. URL: <http://top.rbc.ru/economics/28/01/2013/842358.shtml> (дата обращения: 29.10.2017).
2. Информационное агентство Au92. Новости. URL: <http://au92.ru/msg/o-nesanktsionirovannykh-vrezkakh-v-truboprovody-i-nelegalnoy-torgovle-toplivom-v-intervyu-s-zam-gend.html> (дата обращения: 10.11.2017).
3. Информационное агентство REGNUM. Новости. URL: regnum.ru/news/2165278.html (дата обращения: 09.11.2017).
4. Степанченко Т. Е., Шкляр В. Н. Исследование математической модели процесса утечки жидкости в трубопроводе // Современные техника и технологии: труды XI Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. — Томск, 2005. — Т. 1. — С. 250–254.
5. Мамонова Т. Е. Метод определения утечки из нефтепровода, основанный на разности во времени давления / Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2013. — Т. 323. — № 1. — С. 216–219.
6. Мамонова Т. Е. Обнаружение утечек из нефтепровода с использованием устройства для измерения давления / Наука Красноярья. 2012. — № 5. — С. 102–111.
7. Васильева Т. Н., Мамонова Т. Е. Применение методов искусственного интеллекта // Молодёжь и современные информационные технологии: сборник трудов XII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. — Национальный исследовательский Томский политехнический университет. Томск, 2014. — С. 402–403.
8. Microsensor. URL: <http://www.micro-sensor.ru/catalog?yclid=6734388756166478789> (дата обращения: 09.11.2017).
9. Степанченко Т. Е., Шкляр В. Н. Исследование влияния координаты установки реальных датчиков давления на точность определения параметров утечек заданной интенсивности в магистральных трубопроводах // Современные техника и технологии: труды V Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Молодёжь и современные информационные технологии». — Томск, 2007. — Т. 1. — С. 220–222.
10. Промышленная автоматика. URL: http://poltraf.ru/davlenie/datchiki_davleniya/?yclid=6734531375850068578 (дата обращения: 09.11.2017).
11. Дьяконов В. П., Круглов В. В. MATLAB6.5 SP1/7/ SP1/7 SP2 + Simulink 5/6. Инструменты искусственного интеллекта и биоинформатики. Серия «Библиотека профессионала». — М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2006. — 456 с.

© Мамонова Татьяна Егоровна (mamte@sibmail.com), Сидорова Анастасия Александровна (sidorova@tpu.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»