DOI: 10.17117/na.2015.12.02.297

Поступила (Received): 30.12.2015

<http://ucom.ru/doc/na.2015.12.02.297.pdf>

Федотов А.А.
Модель затухания упругих колебаний
в оболочке заглубленного трубопровода

Fedotov A.A.
Model of elastic vibrations absorption in the
shell of underground pipeline

Разработана модель затухания упругих колебаний в оболочке заглубленного трубопровода, описывающая значение затухания волн в зависимости от глубины погружения оболочки трубы в грунт, частоты сигнала и влажности грунта

Ключевые слова: затухание упругих колебаний, эмпирическая модель, заглубленный трубопровод

A model of elastic vibrations absorption in the shell of underground pipeline, which describes the absorption of waves, depending on the depth of the pipe shell in the ground, signal frequency and soil moisture

Key words: elastic vibrations absorption, empirical model, underground pipeline

Федотов Александр Анатольевич

Аспирант

Омский государственный университет путей
сообщения

г. Омск, Пр. Маркса, 35

Fedotov Alexander Anatolievich

Graduate

Omsk state transport university
Omsk, Marksa ave., 35

Проведенный обзор публикаций не выявил работ по автоматическому обнаружению формируемых над трубопроводом шурфов для последующего хищения продукта или установки боеприпаса. Автором разработан способ [2], позволяющий осуществлять контроль состояния линейной части магистрального продуктопровода с помощью передачи периодических импульсов в его оболочке. Идея прозванивания трубопровода для оценки его состояния и состояния окружающей его среды имеет перспективу воплощения на практике с использованием низкочастотных колебаний [1]. Эффективность активного виброакустического способа контроля состояния линейной части магистрального продуктопровода зависит от параметров окружающей трубопровод среды, определяющих интенсивность затухания упругих колебаний, переданных по оболочке трубы. Автором предложена эмпирическая модель, построенная на основе факторного эксперимента, отражающая зависимость значения затухания сигнала в оболочке заглубленного трубопровода от влажности грунта, частоты колебаний в оболочке трубы и глубины погружения трубы в грунт.

Разработан стенд для проведения экспериментов (рис. 1). Труба 2 фиксируется перегородками 3 для заполнения объема нужным количеством грунта, фиксируемым корпусом 1.

Рис. 1. Испытательный стенд

На рис. 2 изображен амплитудный спектр импульса в диапазоне 20-10000Гц при изменении влажности и глубины погружения трубы в грунт на испытательном стенде.

Рис. 2. Амплитудный спектр накопленного сигнала
(влияние влажности и глубины погружения на распространение сигнала)

Рис. 3. Зависимость значения затухания сигнала
от частоты его колебаний и факторов среды

В частотном диапазоне 600-900Гц отмечается максимальное значение затухания (до 22дБ). Эксперимент по имитации создания шурфа злоумышленником выявил высокую информативность данного частотного диапазона (600-900Гц, рис. 3) при обнаружении отклонения трубопроводной системы от нормы,

так как амплитудно-частотный спектр при возникновении шурфа имеет максимальное отклонение амплитуды на тех же частотах, как и в случае с изменением глубины погружения оболочки и влажности грунта.

Предложено реализовать модель на основе данного частотного диапазона (600-900Гц), определяющую значение затухания сигнала, переданного по оболочке заглубленной трубы в грунт на один метр, в зависимости от влажности грунта, частоты сигнала и глубины погружения.

Выбор данного частотного диапазона обусловлен максимальным откликом на возникновение локальной неоднородности (рис. 3) и потенциально максимальной обнаруживаемой способностью, а также возможностью линейной аппроксимации кривой. Весь частотный спектр до 10кГц имеет сложную структуру (рис. 2), не позволяющую аппроксимировать кривые с достаточным коэффициентом детерминации (аппроксимация полиномом шестой степени позволяет получить коэффициент с низким значением $R^2 = 0,32$). Соответствующие кривые (влияние влажности и глубины) в выбранном частотном диапазоне аппроксимируются линейно с коэффициентами детерминации от 0,9753 до 0,9964.

Полученная модель с учетом размерности величин:

$$y(z_1, z_2, z_3) = 13,5753 - 0,892696z_1 - 47,7128z_2 + 0,99296z_1z_2 - 0,0254824z_3 + 0,00152032z_1z_3 + 0,0869893z_2z_3 - 0,00162133z_1z_2z_3$$

где z_1 - глубина погружения оболочки трубы в грунт (значения от 25 до 50мм); z_2 - влажность грунта (коэффициент от 0.4 до 0.9); z_3 - частота (от 600 до 900Гц); $y(z_1, z_2, z_3)$ - функция затухания, дБ на 1 метр длины трубопровода.

На рис. 4 изображено влияние факторов на затухание сигнала. Наиболее интенсивное затухание возникает при максимальных значениях трех факторов. Все коэффициенты уравнения регрессии являются значимыми (критерий Стьюдента) и опыты воспроизводимы (критерий Кохрена). Коэффициенты детерминации находятся в диапазоне от 0.899 до 0.997, что указывает на адекватность модели.

Рис. 4. Влияние факторов на значение затухания сигнала

Также были обнаружены зоны частотного спектра, имеющие отклонения амплитуды при определенных изменениях в оболочке трубы или окружающей среде. При возникновении шурфа при проведении подготовительных работ к врезке злоумышленником фиксируется снижение амплитуды частот в диапазоне 350-800Гц (рис. 5).

Рис. 5. Влияние наличия шурфа на амплитудный спектр сигнала

Таким образом, для повышения характеристик распознавания возможно использование определенных диапазонов частотного спектра, амплитуды которых чувствительны к возникновению различных видов нарушений на линейной части магистрального продуктопровода.

Список используемых источников:

1. Епифанцев Б.Н., Пятков А.А., Федотов А.А. Концепция обеспечения безопасной работы магистральных трубопроводов в условиях внешних воздействий // *Безопасность труда в промышленности*. 2013. №12. С. 42-49.
2. Епифанцев Б.Н., Федотов А.А. Патент на изобретение №2463590 "Способ обнаружения изменений параметров среды в окружении заглубленного магистрального продуктопровода".

© 2015, Федотов А.А.
 Модель затухания упругих колебаний в оболочке заглубленного трубопровода

© 2015, Fedotov A.A.
 Model of elastic vibrations absorption in the shell of underground pipeline