ДИАГНОСТИКА ПОВРЕЖДЕННЫХ УЧАСТКОВ ТРУБОПРОВОДОВ ВОЛНОВЫМ ЗОНДИРОВАНИЕМ

@ В.П.Шагапов, Э.В.Галиакбарова, З.Р.Хакимова

Shagapov@rambler.ru, emi.galiakbar@yandex.ru, zulfya.hakimova@yandex.ru

УДК 532/529.534.2

DOI: 10.33184/mnkuomsh2t-2021-10-06.98.

Для обнаружения повреждений при транспорте углеводородных жидкостей или газов предложено создавать зондирующий импульс давления во флюиде, заполняющем трубопровод. Построена теоретическая модель распространения импульса конечной длительности по трубопроводу с повреждениями типа коррозионных прожвальных, трещин и пробоин, пробок. Рассмотрены случаи наземного и подземного расположения трубопроводов. Получены системы интегро-дифференциальных уравнений. Исследованы дисперсионные уравнения, коэффициенты отражения и прохождения в зависимости от типа повреждения. Изучена динамика импульсов в трубопроводе с поврежденными участками на основе быстрого преобразования Фурье.

Ключевые слова: интегро-дифференциальные уравнения, гармоническая волна, быстрое преобразование Фурье.

Diagnostics of damaged pipeline sections by wave probing

To detect damage in pipelines during the transport of hydrocarbon liquids or gases, it is proposed to create a probing pressure pulse in the fluid filling the channel. A theoretical model of the propagation of pulses of finite duration through a pipeline with damages such as corrosive rusting, cracks and holes, plugs has been built. Cases of above-ground and underground location of pipelines are considered. Systems of integro-differential equations are obtained. Dispersion equations, reflection and transmission coefficients are derived depending on the type of damage. The dynamics of impulses in a pipeline with damaged sections was studied based on the fast Fourier transform.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-11-00207, <https://rscf.ru/project/21-11-00207/>

Шагапов Владислав Шайхулагзамович, д.ф.-м.н., профессор, Институт механики им. Р.Р. Мавлютова УФИЦ РАН (Уфа, Россия); Vladislav Shagapov (Mavlutov Institute of Mechanics, Investigation Center, R.A.S., Ufa, Russia)

Галиакбарова Эмилия Вильевна, к.ф.-м.н., доцент, Институт механики им. Р.Р. Мавлютова УФИЦ РАН, УГНТУ (Уфа, Россия); Emiliya Galiakbarova (Mavlutov Institute of Mechanics, Investigation Center, R.A.S., Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia)

Хакимова Зульфия Разифовна, Институт механики им. Р.Р. Мавлютова УФИЦ РАН, УГНТУ (Уфа, Россия); Zulfya Khakimova (Mavlutov Institute of Mechanics, Investigation Center, R.A.S., Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia)

Keywords: integro-differential equations, harmonic wave, fast Fourier transform.

Рассматривается трубчатый канал (трубопровод), заполненный газом или жидкостью, содержащий поврежденный участок протяженностью l_δ в виде щелей, трещин, пробоев или пробок. На конце трубопровода, радиуса a создается сканирующий импульс давления длительностью l_δ и длиной волны λ . Приняты допущения [1]: $\lambda \gg l_\delta$, $\lambda > 2a$, ($\lambda = 2\pi C/\omega$, — скорость звука в среде). Повреждения рассматриваются отражающей поверхностью, возмущения давления и скорости — функции одной пространственной координаты z и времени t ; ось Oz направлена по оси симметрии трубопровода, начало отсчета ($z = 0$) совпадает с поврежденным участком; расстояние до повреждения равно l .

Импульсный сигнал при распространении по трубопроводу затухает. Принята модель [2], в которой вязкость и теплопроводность флюида проявляются в тонком слое вблизи внутренней поверхности стенки трубопровода ($a \gg 2\sqrt{\nu^{(j)}/\omega}$, $j = T, \nu$, где $\nu^{(j)}$, $j = T, \nu$ — коэффициент температуропроводности и кинематической вязкости газа или жидкости).

Решение ищется в виде затухающих гармонических волн.

В работах [2-5] получены дисперсионные уравнения, которые проанализированы для различных газов, жидкостей, заполняющих канал, характеристик канала, выведены коэффициенты отражения и прохождения в зависимости от типа повреждения. Динамика импульсного сигнала конечной длительности изучалась с помощью быстрого преобразования Фурье [6-7]. Теоретические построения положены в основу патента на изобретение [8].

Литература

1. *Исакович М.А.* Общая акустика. М.: — Наука, 1973. 496 с.
2. *Шагапов В.Ш., Галиакбарова Э.В., Хакимова З.Р.* К теории акустического сканирования трубопроводов с поврежденными участками // Труды института механики им. Р.Р. Мавлютова. Электронный журнал теоретической механики. 2016. Т. 11, №2. С. 180-188.
3. *Шагапов В.Ш., Галиакбарова Э.В., Хакимова З.Р.* К теории акустического зондирования трубчатых каналов, содержащих участки с нарушением герметичности// Инженерно физический журнал. 2018. Т. 91. № 3, С. 709–719.
4. *Шагапов В.Ш., Галиакбарова Э.В., Хусаинов И.Г., Хакимова З.Р.* Акустическое сканирование поврежденных трубопроводов, находящихся в грунте// Прикладная механика и техническая физика. 2018. Т. 59. № 4. С. 169–178.
5. *Шагапов В.Ш., Галиакбарова Э.В., Хакимова З.Р.* Динамика импульсных сигналов в трубопроводе, заполненном метано-паракапельной смесью и

подверженной газогидратным отложениям// Инженерно- физический журнал. 2021. Т. 94. № 3. С. 698 –706.

6. *Ефимов В.А.* Математический анализ (специальные разделы), ч. I, М: Высшая школа. 1980. 279 с.

7. *Губайдуллин А.А, Болдырева О.Ю.* Компьютерное моделирование волновых процессов в пористых средах// Вестник кибернетики. 2016. № 2(22). С. 103–111.

8. *Галиакбаров В.Ф., Галиакбарова Э.В., Ковшов В.Д., Аминев Ф.М., Хакимова З.Р.* Система контроля состояния трубопровода. Пат. 2606719 С1 РФ, F17D5/00, опубл. 10.01.2017, Бюл. № 1.