

УДК 620.19

Ю. В. Мышкин

Физико-технический институт УрО РАН

О. В. Муравьева

Ижевский государственный технический университет,

г. Ижевск

ВЛИЯНИЕ СВОЙСТВ КОНТАКТНЫХ ВЯЗКОУПРУГИХ СРЕД НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ КРУТИЛЬНЫХ ВОЛН В ТРУБЕ

Предложены прибор и техника модельного эксперимента влияния свойств контактных вязкоупругих сред на распространение крутильных волн в трубе эхо-импульсным методом. Исследованы зависимости ослабления амплитуд эхо-импульсов крутильных волн, переотражённых от торцов трубы, при нагружении на различные среды.

Ключевые слова: *крутильная волна, труба, контактная вязкоупругая среда, затухание.*

Yu.V. Myshkin, O. V. Muravieva

INFLUENCE OF THE VISCOELASTIC MEDIA PROPERTIES ON TORSIONAL WAVE PROPAGATION IN PIPE

Device and technique of modeled experiment of influence of the viscoelastic media properties on the torsional waves in pipe by echo-pulse method were proposed. The attenuation characteristics of torsional wave amplitude echo-pulses multiple reflected from pipe ends were investigated under loading on various media.

Keywords: *torsional wave, pipe, viscoelastic media properties, the attenuation.*

Обеспечение надёжности и предотвращение появления недопустимых дефектов в нефте- и газопроводах является актуальной задачей. Современные методы неразрушающего контроля (НК) позволяют проводить экспресс-диагностику трубопроводов с высокой производительностью. В частности, волноводный метод обеспечивает эффективный диапазон расстояний прозвучивания за одну установку преобразователя от 1 до 200 метров в зависимости от типа контактной среды [1]. Авторами работы [2] экспериментально исследованы зависимости ослабления крутильной $T(0,1)$ и

продольной $L(0,2)$ волн в полосе частот $11 \div 34$ кГц в трубе диаметром 203,2 мм с толщиной стенки 9 мм в условиях нагружения на песок. Из эксперимента установлено, что значение затухания волн в зависимости от воздействия на песок (механическая нагрузка, частичное нагружение, уплотнение контактного слоя) и его влажности (сухой, мокрый) составило $1,6 \div 5,5$ дБ/м. Максимальное расстояние прозвучивания зависит от условий эксплуатации, типа покрытия, степени дефектности, типоразмеров трубы и моды используемой волны. Использование продольных и поперечных мод нормальных волн нулевого и высшего порядков, обладающих дисперсией скорости и существенным затуханием в условиях переизлучения нормальной компоненты в окружающую среду, приводит к низкой эффективности их применения. По сравнению с указанными типами мод крутильная волна характеризуется меньшим коэффициентом затухания, более высокой чувствительностью к дефектам и отсутствием дисперсии скорости [3–6].

В данной работе предложен прибор и техника модельного эксперимента и представлены результаты исследования влияния свойств контактных вязкоупругих сред на распространение крутильных волн в трубе длиной $L = 950$ мм с диаметром $D = 32$ мм и толщиной стенки $h = 4,2$ мм на частоте 30 кГц. Рассмотрено влияние пяти видов контактных сред: дерново-подзолистой суглинистой почвы (далее – земля), сырого речного песка (далее – песок), глины, воды и крахмального клея (моделирует вязкую жидкость).

Установка для исследования включала блок синхронизации, генератор зондирующих импульсов (ГЗИ), усилитель, осциллограф и пластмассовый сосуд, в который помещались труба с окружающей её контактной средой (рис. 1). Площадь нагружения на трубу внешней средой во всех случаях была одинаковой и составляла примерно 90–95 % от площади внешней поверхности трубы. У края торца трубы на диаметрально противоположных внешних поверхностях устанавливалась пара возбуждающих электромагнитно-акустических преобразователей (ЭМАП) крутильных волн и отстоящий на четверть длины периметра трубы от ЭМАП приёмный пьезоэлектрический преобразователь (ПЭП), изготовленный на основе сдвиговой пьезокерамики типа НФИ50.

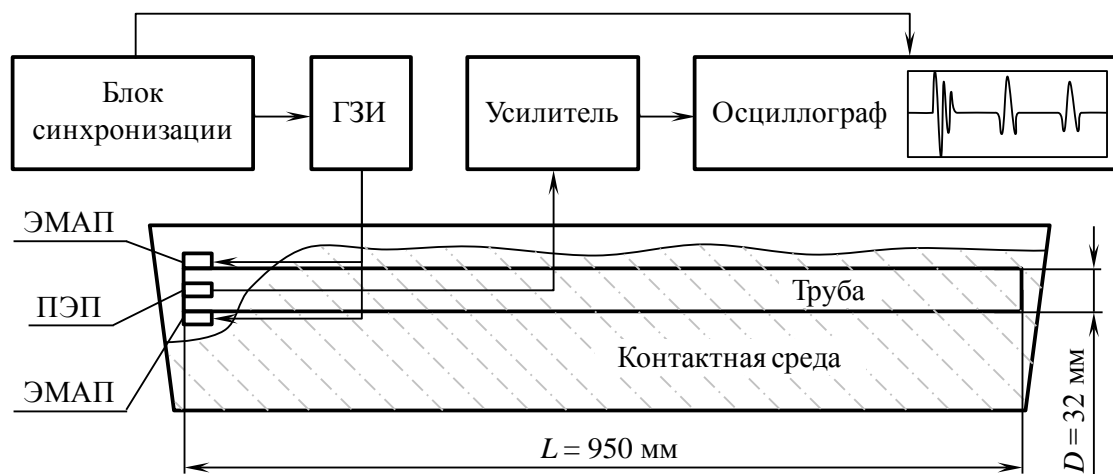


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки: ЭМАП – электромагнито-акустический преобразователь, ПЭП – пьезоэлектрический преобразователь, ГЗИ – генератор зондирующих импульсов

Регистрируемая на экране осциллографа серия многократных эхо-импульсов, отражённых от торцов трубы представлена на рис. 2, по характеру ослабления которой можно судить о влиянии контактной среды на распространение крутильных волн в трубе. В частности, в свободной (ненагруженной) трубе затухание крутильной волны обусловлено лишь внутренними вязкими потерями и рассеянием на поверхностных неоднородностях. Для трубы, нагруженной на контактные среды, существенно большее влияние вносит переизлучение угловой компоненты смещений в окружающие среды. Так, на пятом отражении (эквивалентно длине трубы 9,5 м) в случае нагружения на глину амплитуда сигнала становится сопоставимой с уровнем акустических шумов (рис. 2, б).

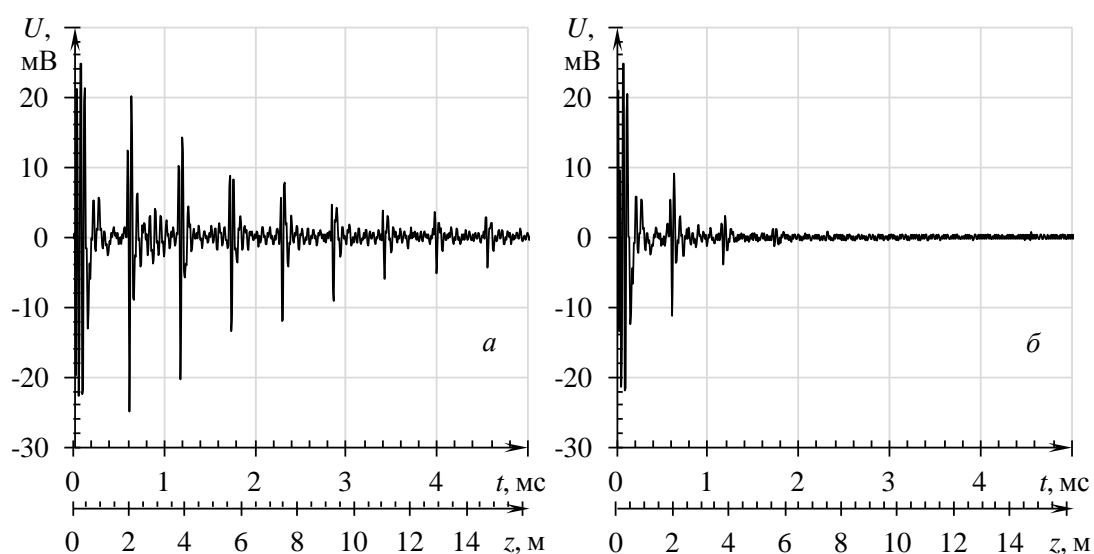


Рис. 2. Экспериментальная серия эхо-импульсов многократных переотражений от свободных торцов трубы (а) и от торцов трубы, нагруженной на глину (б): $L = 950$ мм, $D = 32$ мм, $h = 4,2$ мм

Обобщённые зависимости ослабления амплитуды эхо-импульса с расстоянием для различных контактных сред, выраженные в децибелах относительно свободной трубы, представлены на рис. 3. Уровень 0 дБ соответствует ненагруженной трубе. Из приведённых зависимостей следует, что среди рассматриваемых сред наименьшее ослабление амплитуды эхо-импульсов наблюдается в случае нагружения трубы на землю (2 дБ на расстоянии 10 м), максимальное – на глину (30 дБ на расстоянии 10 м).

Следует отметить, что в случаях нагружения на воду и крахмальный клей, как с наружной, так и внутренней стороны трубы существенного изменения амплитуды эхо-импульсов не наблюдалось, что обусловлено отсутствием эффекта переизлучения крутильных волн в жидкие среды ввиду невозможности возбуждения в последних сдвиговых смещений. При этом по сравнению с ненагруженной трубой уровень акустических шумов, обусловленных излучением мешающих мод колебаний (симметричных и антисимметричных) уменьшается существенно (в 1,3 раза и 1,8 раз при нагружении на воды и клея соответственно).

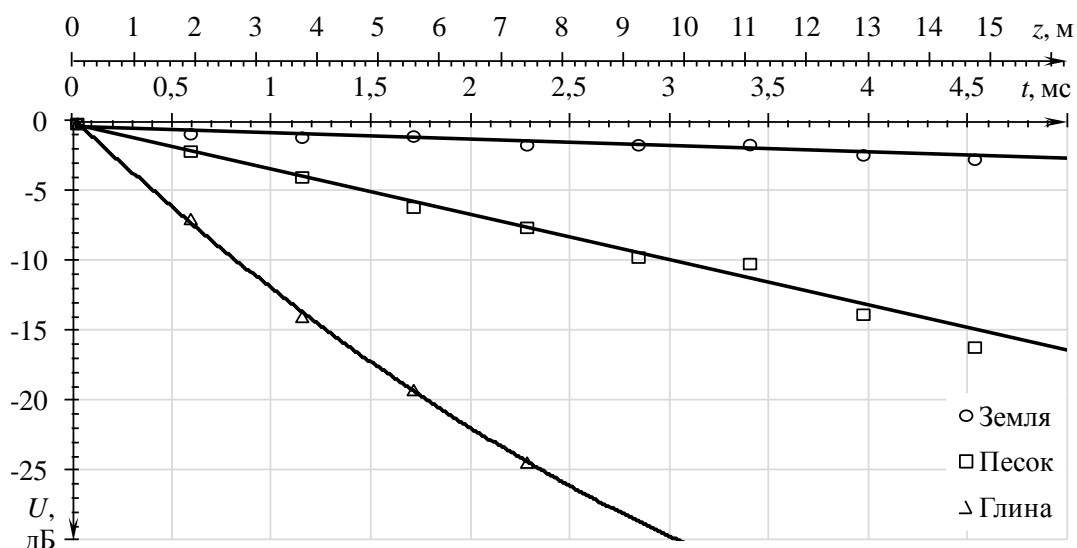


Рис. 3. Зависимости амплитуд смещений U , выраженные в децибелах относительно свободной трубы, от расстояния z для различных внешних сред: $L = 950$ мм, $D = 32$ мм, $h = 4,2$ мм

Рассчитанные согласно экспериментальным данным значения затухания крутильной волны в трубе составили в условиях нагружения на землю – 0,17 дБ/м, на песок – 1 дБ/м, на глину – $2 \div 3,8$ дБ/м.

Результаты экспериментального исследования показывают, что ослабление крутильной волны определяется типом контактной среды и, как показывают предварительные теоретические исследования, зависит преимущественно от её модуля сдвига, сдвиговой вязкости и качества контакта с телом трубы, описываемого коэффициентом скольжения, а также типоразмеров трубы. Установлено, что значение затухания крутильных волн для исследуемой трубы составило от 0,2 дБ/м (сухая земля) до 3,8 дБ/м (влажная глина). На затухание крутильных волн не оказывают влияние жидкие вязкоупругие среды, при этом амплитуда мешающих типов волн, имеющих возможность переизлучения, резко уменьшается.

Предложенный экспериментальный подход к исследованию влияния условий контактирования трубы с внешними средами на затухание крутильных волн может быть использован для предварительного обоснования параметров контроля в части выбора оценки дальности прозвучивания и чувствительности метода при разработке методик волноводного контроля трубопроводов в различных условиях эксплуатации.

Предложенный экспериментальный подход может быть использован для количественной оценки динамической вязкости контактной среды и её коэффициента скольжения со стенкой трубы [7].

Работа выполнена в рамках проекта № 15-19-00051 Российского научного фонда.

Список литературы

1. Rose J. L. Ultrasonic waves in solid media. – Cambridge, UK: Cambridge university press, 2004. – 454 p.
2. Leinov E., Lowe M.J.S., Cawley P. Investigation of guided wave propagation and attenuation in pipe buried in sand // Journal of Sound and Vibration. – 2015. – V. 347. – Pp. 96–114.
3. Alleyne D.N., Vogt T., Cawley P. The choice of torsional or longitudinal excitation in guided wave pipe inspection // Insight. – 2009. – V. 51. – № 7. – Pp. 373–377.
4. Муравьева О. В., Ленков С. В., Мурашов С. А. Крутильные волны, возбуждаемые электромагнитно-акустическими преобразователями, при акустическом волноводном контроле трубопроводов Акустический журнал. – 2015. – Т. 61. – № 6. – С. 1–8.

5. Взаимодействие крутильных волн с продольными трещинами труб / Г. А. Буденков [и др.] // Дефектоскопия. – 2006. – № 6. – С. 58–66.

6. Муравьева О. В., Мурашов С. А. Использование крутильных волн при выявлении эксплуатационных дефектов насосных штанг и насосно-компрессорных труб // Вестник Ижевского государственного технического университета. – 2011. – № 2. – С. 149–154.

7. Бергман Л. Ультразвук и его применение в науке и технике. – М. : Издательство иностранной литературы, 1957. – 726 с.