

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФЕКТОВ И ПОВРЕЖДЕНИЙ ТРУБОПРОВОДА ПУТЕМ АНАЛИЗА ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ МЕТОДОМ ДИСКРЕТНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФУРЬЕ

Блинов А.В.¹, Максимов П.В.¹, Шиверский А.В.¹, Горохов А.Ю.¹

¹ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Пермь, Россия (614990, Пермь, Комсомольский пр. 29), e-mail: vmm@pstu.ru

С помощью разработанной динамической параметрической конечно-элементной модели, описывающей волновые процессы, происходящие в трубопроводе под действием внешних возмущений, проводится серия вычислительных многофакторных экспериментов с целью установления влияния локальных изменений, дефектов, повреждений в трубопроводе на спектр вынужденных колебаний в некоторой исследуемой точке, соответствующей месту возможной установки измерительной аппаратуры. Исследуется влияние дефекта на фронт распространения волны и амплитудно-частотную характеристику полученных сигналов в зависимости от размеров трещины. Показано, что анализ АЧХ поля перемещений на поверхности трубопровода позволяет определить наличие трещины и ее размер. В процессе анализа набора полученных численных решений для различных размеров трещин получено, что в результате возможно создание прикладной методики анализа пригодности исследуемого трубопровода к дальнейшей эксплуатации и оценки его текущего состояния (определение наличия трещин), проводимых на основании серии динамических испытаний.

Ключевые слова: вибродиагностика, моделирование, динамика, метод конечных элементов.

THE DEFINITION OF DEFECTS AND DAMAGE OF THE PIPELINE DURING THE ANALYSIS OF WAVE PROPAGATION BY USING THE DISCRETE FOURIER TRANSFORM

Blinov A.V.¹, Maksimov P.V.¹, Shiverskiy A.V.¹, Gorokhov A.Y.¹

¹Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia (614990, Perm, Komsomolsky ave., 29), e-mail: vmm@pstu.ru

With the help of the developed dynamic parametric finite element model, which describes the wave processes occurring in the pipeline due to external disturbances, a series of computing multifactor experiments to determine the influence of local changes, defects, damage to the pipeline on the spectrum of forced oscillations in a study point corresponding to the location possible installation of measuring equipment are performed. The influence of the defect on the front of the wave, and the frequency response of the received signals depending on the size of the crack is researched. It is shown that the analysis of the frequency response of the displacement field on the surface of the pipe is allowed to determine the presence of cracks and its size. During the analysis of a set of numerical solutions for different sizes of cracks found that it is possible to create a method of analysis of the pipeline, based on a series of dynamic tests, for further use in researches and for evaluation of its current state (detect cracks).

Keywords: vibration diagnostics, simulation, dynamics, finite element method.

Трубопровод – инженерное сооружение, предназначенное для транспортировки газообразных и жидких веществ. Актуальными являются задачи, связанные с эксплуатацией трубопровода и его ремонтом [3, 7]. Авторами предпринята попытка математического обоснования основанной на принципах вибродиагностики методики оценки остаточной работоспособности трубопроводов. В рамках текущей работы, на основании серии вычислительных экспериментов оценивается возможность определения типа, размера и местоположения дефекта трубопровода путем анализа закономерностей распространения упругих волн в материале трубопровода и оценки спектральных

характеристик поля перемещений в локальной области на поверхности трубы. Разработанные в результате исследований математические и компьютерные модели динамических систем представлены в виде виртуальных прототипов, на основе которых разрабатываются расчетные методики проектирования металлургической продукции с применением современных CAD/CAE-систем; научно обосновываются методы вибродиагностики и дефектации готовой продукции высокотехнологичных предприятий.

Объект исследования

Объектом исследования является участок трубопровода, нагруженного внутренним давлением. На внешней и внутренней поверхности трубопровода в результате нарушений технологии производства, либо в процессе эксплуатации возможно образование трещин, снижающих эксплуатационные характеристики трубопровода, приводящих в разрушению конструкции. Оценку размеров трещин и их расположения предлагается проводить на основании анализа картины распространения в трубопроводе упругих волн [4]. Рассматривается участок трубопровода, на одном конце которого расположено регистрирующее устройство, определяющее перемещения точек поверхности исследуемого объекта. Упругие колебания среды вызываются импульсной нагрузкой, приложенной к другому концу трубопровода. Исследуется поле перемещений вблизи регистрирующего устройства, определяется спектр частот вынужденных колебаний поверхности.

Математические и компьютерные модели исследуемого объекта

Для отработки методических подходов к созданию расчетной методики анализа работоспособности трубопроводов на более простых моделях, на текущем этапе задача решалась в осесимметричной постановке для трубы, выполненной из изотропного материала [1, 5]. В рамках общего исследования проблемы выполнено [2]:

1. Построена математическая осесимметричная модель трубопровода, содержащего трещины, неоднородности материала и иные дефекты. Трещины на внутренней и внешней поверхностях трубопровода учитываются в виде дополнительных свободных поверхностей, неоднородности материала – путем локального изменения свойств материала

2. Разработаны нестационарные диссипативные конечно-элементные модели распространения упругих волн в материале трубопровода. Ряд параметров численных моделей задается на основании проведенных ранее натурных экспериментов [6, 8.].

3. Выполнена верификация разработанных численных моделей.

4. Проведена серия вычислительных экспериментов для изучения картины распространения упругих волн, вызванных приложением импульсного силового воздействия с известными характеристиками.

5. Определен динамический отклик системы в характерных точках.

В данной работе, для серии полученных ранее численных решений задачи о распространения упругих волн в трубопроводе, содержащим дефекты, трещины или локальные неоднородности, анализируются амплитудно-частотные характеристики поля перемещений в предполагаемой точке практического измерения вынужденных колебаний поверхности трубопровода вибро-акустической аппаратурой. Для проведения спектрального анализа нестационарного поля перемещений точек на поверхности трубопровода использован алгоритм Быстрого преобразования Фурье.

Анализ волнового процесса в трубопроводе с дефектом (трещиной)

Для предварительно определенных полей перемещений конструкции [2], содержащей повреждения в виде трещины, начинающейся на внешней поверхности трубопровода и распространяющейся вдоль радиуса вглубь материала на величину h проведен спектральный анализ системы и выполнено исследование влияния возможного дефекта на амплитудно-частотные характеристика (АЧХ) конструкции. Некоторые наглядные изображения спектров для трещин с длинами $h=0.3 \cdot H$ и $h=0.5 \cdot H$ (где H – толщина трубопровода), а также для конструкции без повреждений показаны на рисунках 1-3.

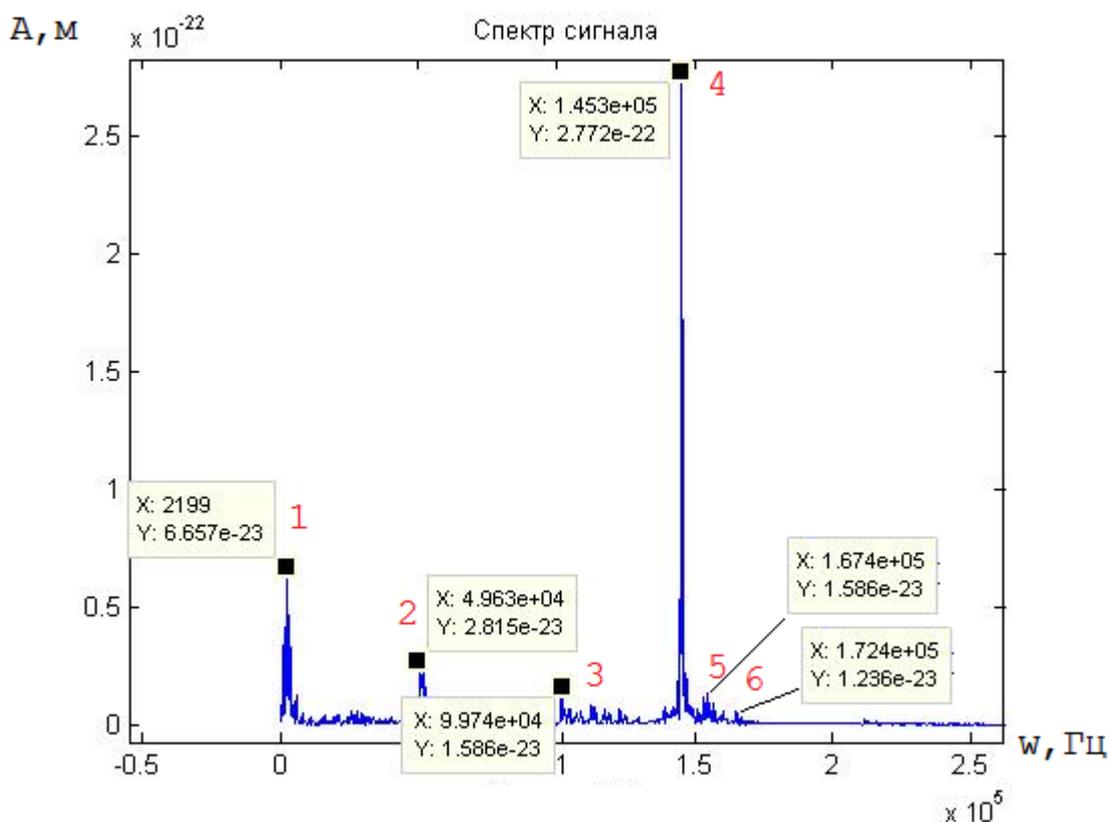


Рис. 1. Спектр сигнала для трубопровода без повреждений

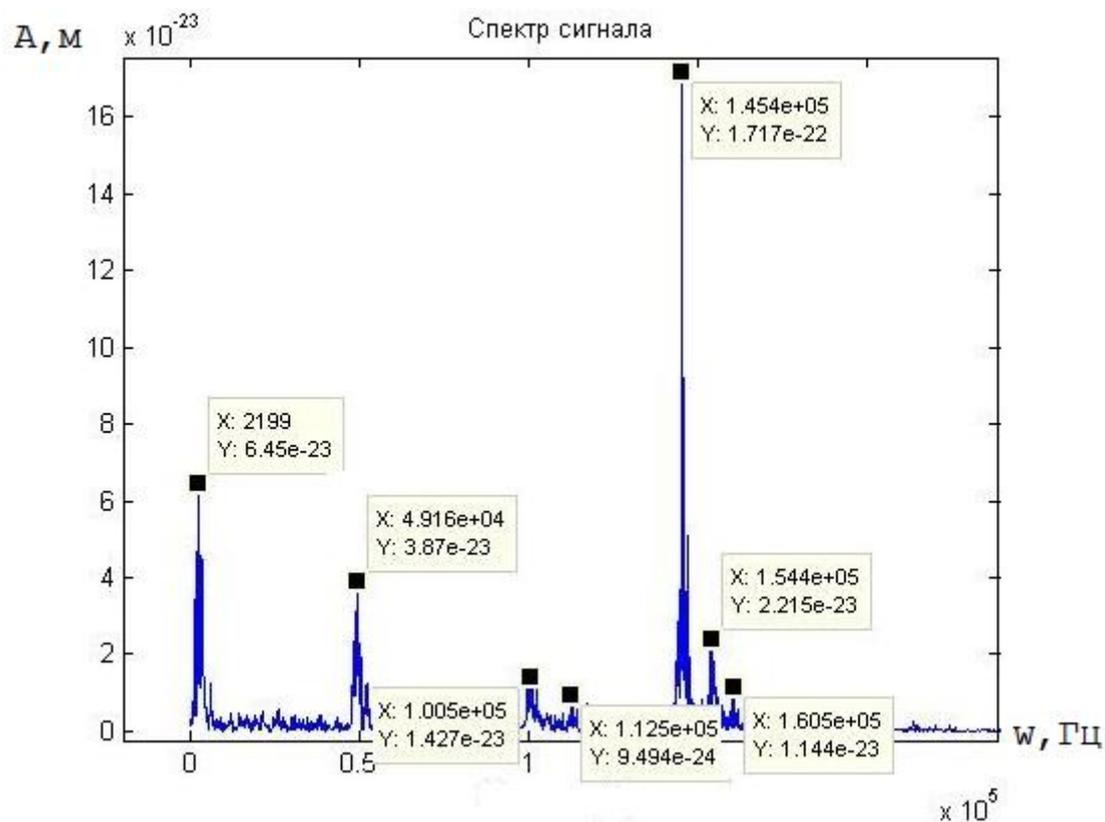


Рис. 2. Спектр сигнала для трубопровода с трещиной, глубиной $h=0.3$ Н

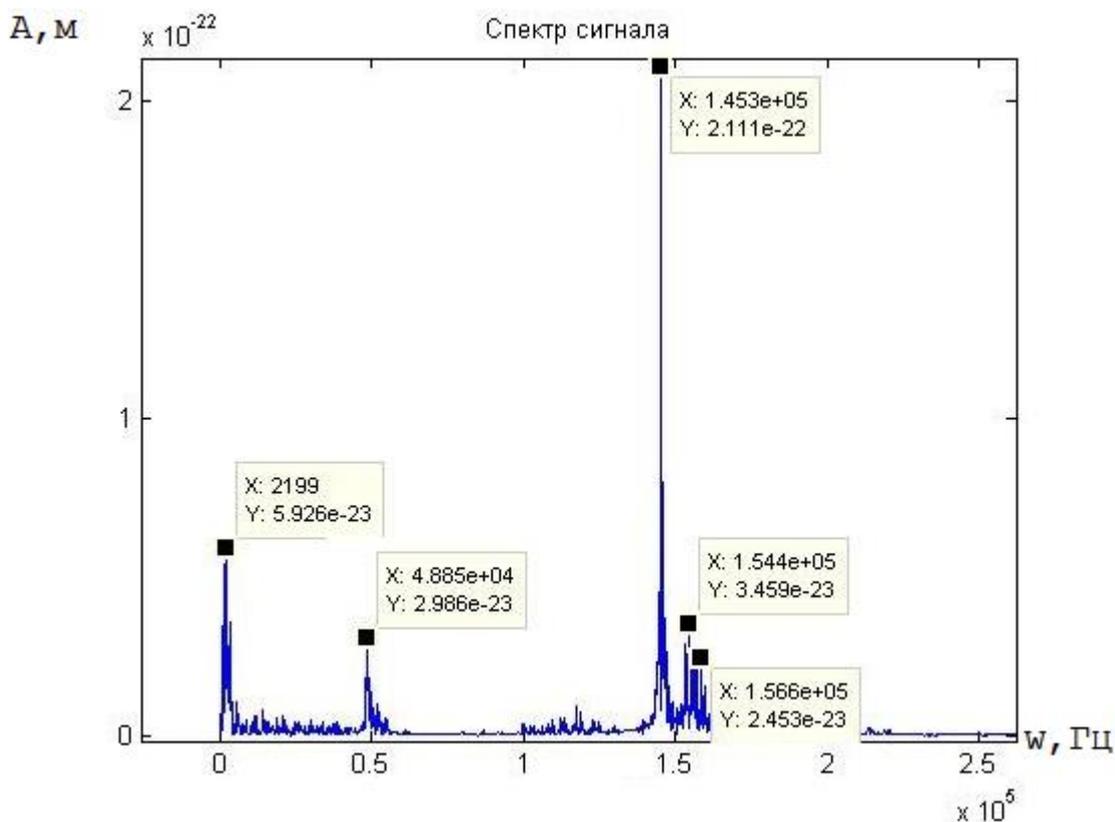


Рис. 3. Спектр сигнала для трубопровода с трещиной, глубиной $h=0.5$ Н

На рисунке 1 красными цифрами отмечены ключевые гармоники, значения частот отмеченных гармоник и амплитуды колебаний приведены в таблицах 1 и 2 соответственно.

Таблица 1

Зависимость частот от длины трещины

№ испытаний	Дефект	Частота гармоники, Гц*10 ⁻⁵					
		1	2	3	4	5	6
1	Нет	0.0219	0.4963	0.9974	1.4530	1.6740	1.7240
2	h=0.3 Н	0.0219	0.4916	1.0050	1.4540	1.5440	1.6050
3	h=0.5 Н	0.0219	0.4885	-	1.4530	1.5440	1.5660

Таблица 2

Зависимость амплитуд гармоник от длины трещины

№ испытаний	Дефект	Амплитуда гармоники, м*10 ⁻⁵					
		1	2	3	4	5	6
1	Нет	0.6657	0.2815	0.1586	2.7720	0.1586	0.1236
2	h=0.3 Н	0.6450	0.3870	0.1427	1.7170	0.2215	0.1144
3	h=0.5 Н	0.5926	0.2986	-	2.1110	0.1544	0.2453

Из таблицы 1 видно, что наличие в трубопроводе трещины приводит к изменению спектральных характеристик конструкции, при этом, ряд характерных гармоник остаются неизменными (гармоники 1, 4), а некоторые гармоники сдвигаются, причем степень их изменения зависит от величины повреждения трубопровода (гармоники 2, 3, 6).

Анализ зависимости амплитуд гармоник от величины повреждения в текущей постановке задачи проводить нецелесообразно, так как величины амплитуд колебаний зависят от диссипативных свойств материала трубопровода; для корректного описания особенностей процесса затухания распространения упругих волн в среде, определения коэффициентов диссипации требуются дополнительные натурные эксперименты.

Заключение

С помощью разработанной динамической параметрической конечно-элементной модели, описывающей волновые процессы, происходящие в трубопроводе под действием внешних возмущений, проведена серия вычислительных многофакторных экспериментов с целью установления влияния локальных изменений, дефектов, повреждений в трубопроводе на спектр вынужденных колебаний в некоторой исследуемой точке, соответствующей месту возможной установки измерительной аппаратуры. Исследовано влияние дефекта на фронт распространения волны и амплитудно-частотную характеристику полученных сигналов в зависимости от размеров трещины. Показано, что

анализ АЧХ поля перемещений на поверхности трубопровода позволяет определить наличие трещины и ее размер.

Анализ набора полученных численных решений для различных размеров трещин показал, что в результате возможно создание прикладной методики анализа пригодности исследуемого трубопровода к дальнейшей эксплуатации и оценки его текущего состояния (определение наличия трещин), проводимых на основании серии динамических испытаний.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (договор № 02.G25.31.0068 от 23.05.2013 г. в составе мероприятия по реализации постановления Правительства РФ № 218).

Список литературы

1. Блинов А.В., Максимов П.В. Постановка динамической задачи распространения упругих волн в трубопроводе // Международный научно-исследовательский журнал. – 2014. - №11(30) часть 2. – С 48-50.
2. Блинов А.В. Максимов П.В. Разработка и верификация нестационарной конечно-элементной модели для исследования волновых процессов в трубопроводе // Современные проблемы науки и образования. – 2015. - №1
3. Бочкарев Н.Н., Курочкин А.А. Вибродиагностический контроль движения внутритрубных объектов в магистральных газопроводах // Электронный научный журнал «Нефтяное дело». – 2012. –№5. –С.86-98.
4. Денисов Г.Г. Об импульсе волн при продолжительных колебаниях упругого стержня / Г.Г. Денисов, В.В. Новиков, М.Л. Смирнов // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. – 2010. - №5-1. С. 134-137.
5. Зенкевич О.С. Метод конечных элементов в технике. / Б.Е. Победря – М.: Мир, 1975. – 543 с.
6. Сальников А.Ф., Сальников С.А., Щелудяков А.М. Оценка влияния динамических нагрузок на остаточную работоспособность полимерноармированных труб // Газовая промышленность. –2014. –№1(701). –с.52-55.
7. Цветков Р.В., Шардаков И.Н., Шестаков А.П. Анализ распространения волн в подземных газопроводах применительно к задаче проектирования систем мониторинга // Вычислительная механика сплошных сред. – 2013. –Т.6, №3. –С.364-372.
8. Щелудяков А.М., Сальников А.Ф., Дутлов О.А. Волновая диагностика трубопроводов из полимерно-армированных труб // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. -Т.1. -2014. -с.254-258.

Рецензенты:

Шевелев Н.А., д.т.н., профессор кафедры «Динамика и прочность машин» ФГБОУ ВПО Пермский национальный исследовательский политехнический университет , г. Пермь;

Сметанников О.Ю., д.т.н., профессор кафедры «Вычислительная математика и механика» ФГБОУ ВПО Пермский национальный исследовательский политехнический университет ,г. Пермь.