

В. И. ПАНИН¹, канд. техн. наук

Д. Д. ХОЛИЧЕВ²

ЧБЕ ЕН УН², д-р техн. наук, проф.

¹СП НОАП «ЭНТЕСТ» ООО «Аскотехэнерго диагностика» (Хабаровск, Россия)

²Тихоокеанский государственный университет (Хабаровск, Россия)

ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ ПРИ НЕРАЗРУШАЮЩЕМ КОНТРОЛЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНО-АКУСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Аннотация. В статье рассматриваются особенности и реализация алгоритмического и программного обеспечения обработки сигналов, полученных, разработанной системой для акустического контроля общего коррозионного состояния трубопроводов. Приводятся схемы разработанного виртуального прибора в среде LabVIEW и результаты обработки сигналов при неразрушающем контроле коррозионного состояния труб электромагнитно-акустическим методом.

Ключевые слова: неразрушающий контроль, акустические сигналы, программное обеспечение, время релаксации, аппроксимация, построение огибающей

Введение

Существует множество различных факторов, влияющих на надежность технологических трубопроводов. К ним относятся техническое состояние технологического оборудования, соблюдение норм по их эксплуатации, наличие средств обнаружения и оценки состояния трубопроводов [1 - 3]. В современной практике при эксплуатации трубопроводов для теплоэнергетики используют вихретоковый, ультразвуковой и акустико-эмиссионный методы неразрушающего контроля [4 - 6]. Из-за большой протяженности контролируемых трубопроводов перечисленные методы обладают недостатками, связанными с трудоемкостью и ограниченными возможностями по обнаружению дефектов и оценке коррозионного состояния объектов контроля. Так, бесконтактные способы контроля вихретоковым и магнитным методами позволяют обнаружить только приповерхностные и поверхностные дефекты. Ультразвуковые методы требуют использования контактной жидкости и предварительной обработки поверхности трубопроводов [7 - 9].

В соответствии с принятыми нормами технологические трубопроводы на различных производствах России должны подвергаться периодическому контролю, например, раз в 2 года для трубопроводов, транспортирующих чрезвычайно, высоко и умеренно опасные вещества 1-, 2- и 3-го классов ГОСТ 12.1.007 [10] и высокотемпературные органические теплоносители (среды групп А) со средней скоростью коррозии (0,1 – 0,5 мм / год) [11]. Поскольку большинство методов предназначены для контроля труб без теплоносителя внутри, требуется периодически выводить участки трубопроводов из эксплуатации, что влечет за собой существенные экономические потери.

Все вышеуказанное делает проблему создания эффективных методов и портативных средств неразрушающего контроля основного фактора износа трубопроводов (коррозионного состояния) с использованием новых подходов актуальной.

К настоящему моменту уже была разработана система электромагнитного возбуждения и пьезоэлектрического приема акустических сигналов [12, 13], с последующим выводом данных в среде Excel при помощи декодера сигналов осциллографа FNIRSI-1013D [14]. В данной статье приводятся результаты по разработке алгоритмического и программного обеспечения обработки акустических сигналов, полученных в результате электромагнитного возбуждения.

Экспорт и подготовка данных в LabVIEW

Предварительно сохраненные .wav-файлы с приемника, открываемые в среде Excel, были преобразованы в удобный для чтения LabVIEW формат .txt. Для этих целей в среде программирования Visual Basic был переписан декодер осциллографа FNIRSI-1013D так, чтобы при открытии .wav-файла сохраненного сигнала создавалась его копия формата .txt.

Далее в среде LabVIEW была реализована функция чтения .txt-файла и запись полученных значений в двумерный массив, с последующим выводом результата в виде временной диаграммы, показанной на рис. 1.

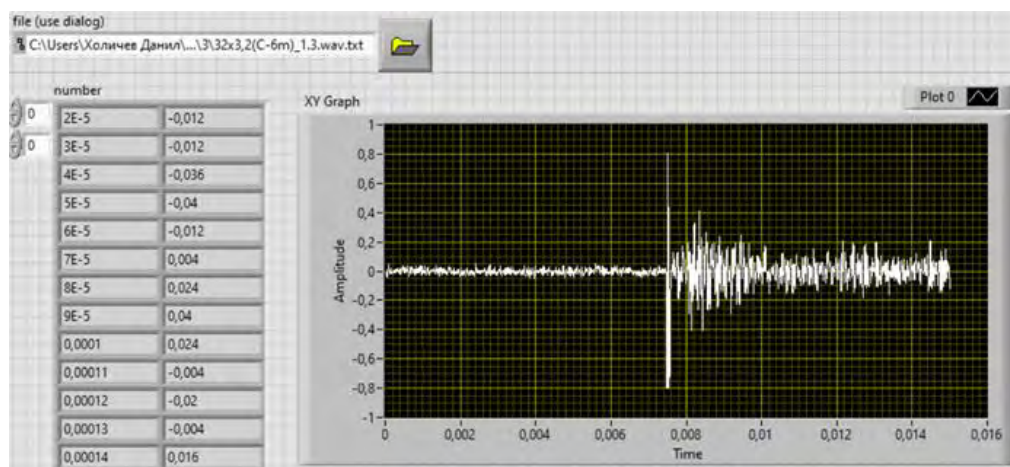


Рис. 1. Построенная в среде LabVIEW временная диаграмма сохраненного сигнала

Как следует из рис. 1, из-за особенностей работы осциллографа первая половина сигнала неинформативна, которую следует удалить. При этом, также следует отметить, что сохраненный сигнал центрируется не по первому акустическому колебанию, а по электромагнитной наводке от излучателя, форма которой показана на рис. 2. С целью корректного удаления неинформативной части сигнала в условиях изменяющегося периода дискретизации реализована функция подбора соответствующей точки отсечки в

зависимости от величины периода дискретизации осциллографа в среде LabVIEW (рис. 3).

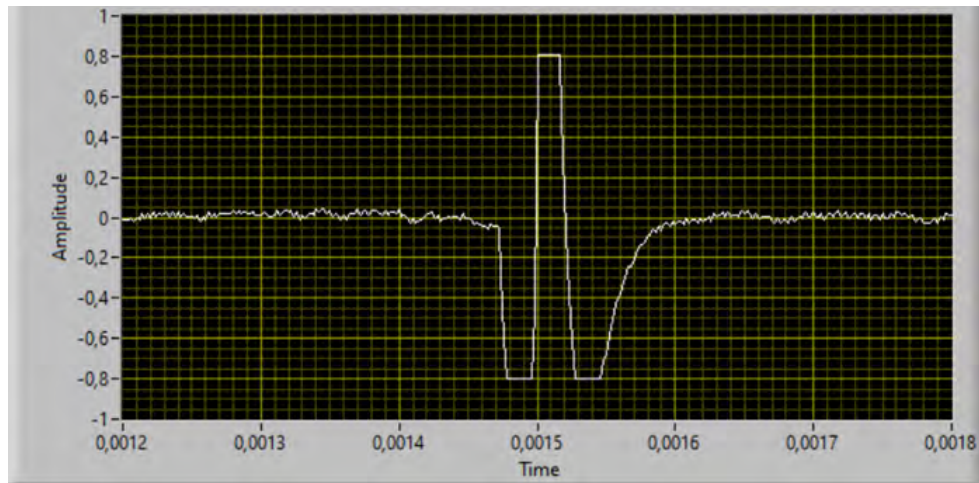


Рис. 2. Форма электромагнитной наводки в пьезоэлектрическом приемнике от излучателя акустических сигналов

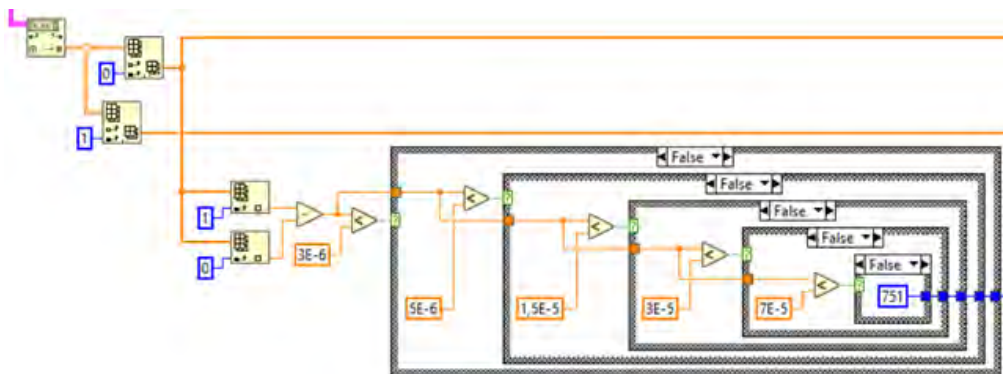


Рис. 3. Реализация функции подбора точки отсечки в зависимости от величины периода дискретизации в среде LabVIEW

Построение и анализ огибающей

Для поиска информативного параметра контроля произведена аппроксимация для всего сигнала. В таком случае при построении огибающей задействуются все точки информативного сигнала и для пиковых значений выпрямленного сигнала. Для этого была реализована функция поиска пиков (рис. 4), с последующей аппроксимацией по отобранным значениям (рис. 5 и 6).

Используя построенные огибающие, появилась возможность рассчитать информативный параметр, определяющий степень коррозионного поражения трубопроводов – время релаксации (период, за который амплитуда колебания уменьшается в e раз). Для этого использовалась функция расчета натурального логарифма отношения наибольшего значения аппроксимирующей функции к наименьшему

$$\tau = \frac{\Delta t}{\ln(A_{max}/A_{min})},$$

где τ – время релаксации, A_{max} – максимум функции аппроксимации, A_{min} – минимум функции аппроксимации, Δt – временной промежуток, в котором строится аппроксимация.

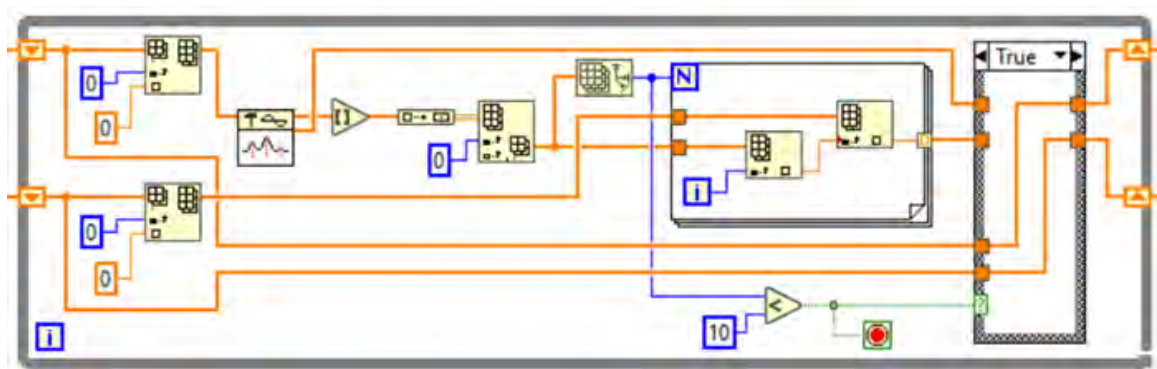


Рис. 4. Реализация поиска пиковых значений в среде LabVIEW

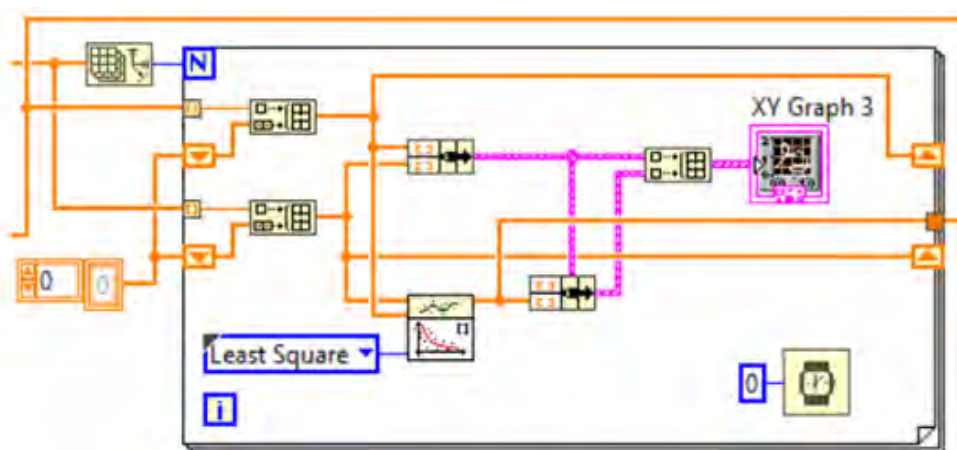


Рис. 5. Реализация построения огибающей через аппроксимацию по пикам в среде LabVIEW

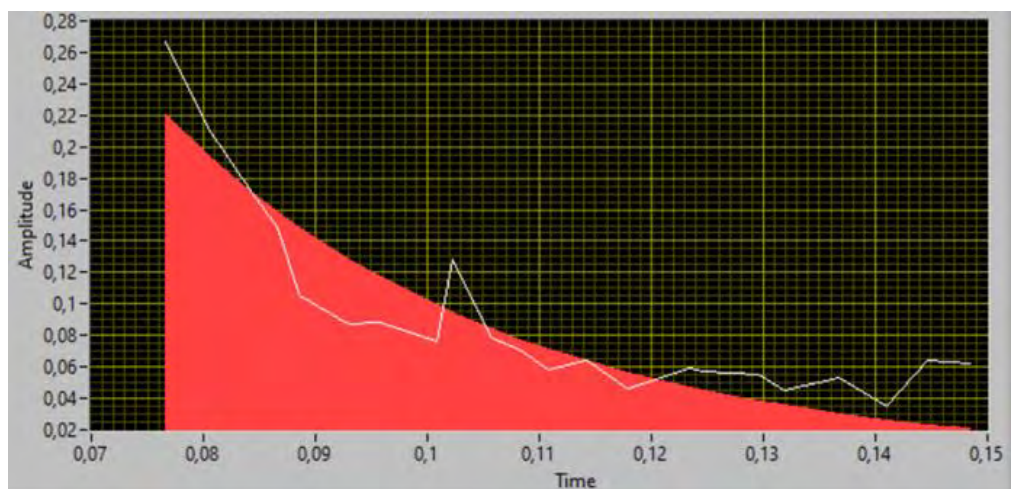


Рис. 6. Построенный в среде LabVIEW график огибающей функции через аппроксимацию по пикам

Проверка работоспособности программного обеспечения

С целью подтверждения работоспособности разработанного алгоритмического и программного обеспечения для неразрушающего контроля была проведена обработка набора данных, полученных при контроле образцов труб (Сталь 20, диаметр 57 мм, длина 580 мм, толщина стенки 3 мм) с различной степенью коррозионного поражения, начиная от зачищенной трубы и заканчивая очень ржавой. Результаты измерения времени релаксации были обобщены в виде таблицы 1.

Таблица 1. Время релаксации труб с различной степенью коррозии

Состояние образцов труб	Время релаксации τ , мс	
	Аппроксимация всего сигнала	Аппроксимация по пикам
зачищенная	50,2	39,6
немного ржавая	29,6	35,2
ржавая	10,5	9,6
очень ржавая	10,4	5,64

Как видно из данных в таблице, как и предполагалось, увеличение степени коррозионного поражения ведет к сокращению времени релаксации колебаний, т.е. сигнал затухает быстрее.

Заключение

Результаты исследования позволяют осуществлять обработку результатов, полученных при помощи разработанной ранее системы контроля общего коррозионного состояния трубопроводов. Представлены различные способы реализации построения огибающей функции, что имеют свои преимущества и недостатки. Также реализован итоговый расчет информативного параметра, по которому осуществляется оценка коррозионного поражения трубопроводов, времени релаксации. Была экспериментально подтверждена работоспособность разработанных алгоритмических и программных средств.

Список литературы

1. Критерии оценки технического состояния длительно работающего металла оборудования ТЭС на основе акустической структуроскопии / А. Н. Смирнов, Н. В. Абабков, В. В. Муравьев [и др.]. // Дефектоскопия. – 2016. – № 2. – С. 44–51.
2. Анализ применения энтропийных методов обработки вибродиагностических сигналов для оценки технического состояния трубопроводов / С. О. Гапоненко, А. Е. Кондратьев, М. В. Калинина [и др.]. // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2024. – № 2. – С. 128–137.
3. Оценка технического состояния и определение сроков безопасной эксплуатации трубопроводов / С. В. Алимов, Б. Н. Антипов, А. В. Захаров [и др.]. // Газовая промышленность. – 2009. – № 1 – С. 60–61.

4. Выявление поверхностных микротрещин в металлических изделиях с помощью возбуждения высокочастотными вихревыми токами и визуализации инфракрасной камерой / О. А. Булычев, С. А. Шлеенков, О. А. Гусев [и др.]. // Дефектоскопия. – 2016. – № 8. – С. 47–54.
5. Опыт контроля состояния труб магистральных газопроводов электромагнитно-акустическим методом / А. Ф. Матвиенко, Г. С. Корзунин, В. Е. Л. Лоскутов [и др.]. // Дефектоскопия. – 2016. – № 9. – С. 28–37.
6. Борейко, Д. А. Чувствительность метода акустической эмиссии при обнаружении дефектов в трубных изделиях / Д. А. Борейко, И. Ю. Быков, А. Л. Смирнов // Дефектоскопия. – 2015. – № 8. – С. 24–33.
7. Акустический волноводный контроль труб малого диаметра / В. В. Муравьев, О. В. Муравьева, В. А. Стрижак [и др.]. // Инновации в топливно-энергетическом комплексе и машиностроении. – 2017. – С. 292–298.
8. Злобин, Д. В. Разработка методики и аппаратуры волноводного электромагнитно-акустического контроля линейно-протяженных объектов с использованием многократных отражений : Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук : 05.11.13 / Злобин Денис Владимирович. – Ижевск, 2013. – 20 с.
9. Метод акустической эмиссии для контроля качества трубопровода / А. Ю. Давыдов, М. Я. Хабибуллин, Л. М. Зарипова [и др.]. // Современные технологии в нефтегазовом деле. – 2025. – С. 832–836.
10. ГОСТ 12.1.007-76. Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности: дата введения 01-01-1977. – URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/1048> (дата обращения: 01.07.2026). – Текст : электронный.
11. ГОСТ 32569-2013. Трубопроводы технологические стальные. Требования к устройству и эксплуатации на взрывопожароопасных и химически опасных производствах: дата введения 2015-01-01. – URL: <https://sptg.ru/upload/iblock/5e7/04mj23paup42mxkrxwk84c7mj2bxz6o1.pdf> (дата обращения: 01.07.2026). – Текст : электронный.
12. Панин, В. И. Экспериментальное исследование электромагнитного возбуждения акустических сигналов в трубопроводах для задач неразрушающего контроля / В.И. Панин, Д.Д. Холичев, Е.У. Чье // Вестник Тихоокеанского государственного университета. – 2025. – №2(77) – С. 23–30.
13. Panin V. I., Kholichev D. D. and Chye E. U., "Electromagnetic Excitation of Acoustic Signals in Pipelines For Non-destructive Testing Tasks," // 2025 7th International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA), Lipetsk, Russian Federation, 2025, pp. 20-23.
14. FNIRSI 1013D. Инструкция по эксплуатации осциллографа планшетного 2-канального 100МГц 1ГВыб/сек, модель 1013D. – URL: <https://static.chipdip.ru/lib/780/DOC035780167.pdf> (дата обращения: 01.07.2026). – Текст : электронный.

Контакты:

poarentest@inbox.ru (Панин Владимир Иванович);
homatv389@gmail.com (Холичев Данил Дмитриевич);
chye.enun@mail.ru (Чье Ен Ун).