



12.2015

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

# АВТОМАТИЗАЦИЯ, ТЕЛЕМЕХАНИЗАЦИЯ и СВЯЗЬ В НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Automation,  
telemechanization  
and communication  
in oil industry



Москва  
ОАО "ВНИОЭНГ"



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

**АВТОМАТИЗАЦИЯ,  
ТЕЛЕМЕХАНИЗАЦИЯ  
И СВЯЗЬ  
В НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

SCIENTIFIC-TECHNICAL JOURNAL

**AUTOMATION, TELEMCHANIZATION  
AND COMMUNICATION  
IN OIL INDUSTRY**

---

**12 • 2015**

**МОСКВА • ВНИИОЭНГ**

# АВТОМАТИЗАЦИЯ, ТЕЛЕМЕХАНИЗАЦИЯ И СВЯЗЬ В НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Научно-технический журнал

Выходит 12 раз в год

Декабрь 2015 г.

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

*Абрамов Г.С.* (главный редактор) – д-р экон. наук, канд. техн. наук, ТК 024 "Метрологическое обеспечение добычи и учета углеводородов";  
*Бакуменко А.В.* – д-р техн. наук, ген. директор ОАО "МРТИ РАН";  
*Вороненко А.В.* – канд. физ.-мат. наук, ген. директор ООО "НПП "Годсиб";  
*Григорьев Л.И.* (зам. главного редактора) – д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой РГУ нефти и газа им. акад. И.М. Губкина;  
*Гуревич М.С.* – член Наблюдательного Совета ООО "Инфракрасные и микроволновые системы", действительный член РМА;  
*Джавадов Н.Г.* – д-р техн. наук, профессор, акад. Международной и Азербайджанской Инженерной Академий, ген. директор ПО "Промавтоматика";  
*Кизина И.Д.* – канд. техн. наук, главный менеджер по науке ОАО "Нефтеавтоматика", директор Департамента ИАСУ;  
*Костогрызов А.И.* – д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник, Институт проблем информатики РАН;  
*Кузьяков О.Н.* – д-р техн. наук, доцент, зав. кафедрой ТГНГУ;  
*Кучунов Р.Я.* – д-р техн. наук, профессор, РГУ нефти и газа им. акад. И.М. Губкина;  
*Лачков А.Г.* (зам. главного редактора) – ген. директор ОАО "ВНИИОЭНГ";  
*Лукьянов Э.Е.* – д-р техн. наук, зам. ген. директора по науке НПП геофизической аппаратуры "Луч";  
*Молчанов А.А.* – д-р техн. наук, профессор, Национальный минерально-сырьевой университет "Торный";  
*Сабиров А.И.* – канд. техн. наук, ген. директор ООО "НПП "ГКС";  
*Сидоров В.В.* – канд. техн. наук, зав. кафедрой РГУ нефти и газа им. акад. И.М. Губкина;  
*Слепан М.А.* – канд. техн. наук, д-р экон. наук, ген. директор ООО НПФ "Нефтеавтоматика";  
*Терехина Г.В.* – с. н. с., ОАО "ВНИИОЭНГ";  
*Фафурин В.А.* – д-р техн. наук, первый зам. директора по научной работе ФГУП "ВНИИР"

Ведущий редактор: *Г.В. Терехина*

Компьютерный набор: *В.В. Васина*  
 Компьютерная верстка: *Т.Д. Диатропцова*  
 Корректор: *Н.В. Шуликина, Н.Г. Евдокимова*

## СОДЕРЖАНИЕ

### СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ, АВТОМАТИЗАЦИИ, ТЕЛЕМЕХАНИЗАЦИИ И СВЯЗИ

- Копытов Д.В., Кузнецов М.Н., Бабенков М.В., Гуревич Д.В.* Опыт применения ультразвукового сканирования с помощью волн Лэмба при контроле днищ резервуаров ..... 4  
*Слинкина С.В., Музипов Х.Н.* Акустический способ передачи информации с забоя при турбинном бурении скважин ..... 6  
*Шаньгин Е.С., Колесник С.В.* Вопросы автоматизации нефтяных промыслов ..... 10

### ИНФОРМАЦИОННЫЕ, ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ, ЭКСПЕРТНЫЕ, ОБУЧАЮЩИЕ СИСТЕМЫ

- Башилов А.А.* Интеллектуальные системы поддержки принятия управляющих решений как средство повышения безопасности человеко-машинного управления сложными технологическими объектами ..... 13

### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

- Степанкина О.А., Абрамов А.С.* Системные основы постановки и решения задач прогнозирования для автоматизированного диспетчерского управления процессами нефтегазового производства ..... 19  
*Марков П.В., Родионов С.П.* Метод ускорения серийных численных расчетов уравнений многофазной фильтрации в пористой среде с помощью непрерывных групп симметрий ..... 23  
*Игошин Д.Е.* Численное определение проницаемости в среде периодической структуры, образованной разветвляющимися каналами ..... 30  
*Максимов А.Ю.* Поведение капли несмачивающей жидкости в трехмерной модели пористой среды ..... 34  
*Тагирова К.Ф., Вульфин А.М., Рамазанов А.Р., Фатхулов А.А.* Модифицированный алгоритм определения текущих параметров работы СШНУ по данным динамометрирования ..... 37  
*Карманов А.В., Росляков Д.А.* Оценка эксплуатационных показателей надежности магистральных насосов магистральных нефтепродуктопроводов ..... 41  
*Федоренко В.В., Слюсарев Г.В., Белов В.В.* Теоретико-игровая модель системной надежности многониточного трубопровода ..... 45  
*Галлямов И.И., Гимазетдинова Н.В., Савочкин В.И.* Намагничивание металла трубы полосовым постоянным магнитом ..... 49

### ЮБИЛЕЙНЫЕ ДАТЫ

- Владимиру Николаевичу Есауленко – 75 лет! ..... 51  
 Информационные сведения о статьях ..... 53  
 Перечень статей, опубликованных в НТЖ "Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности" в 2015 году ..... 59

ОАО "ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ОРГАНИЗАЦИИ, УПРАВЛЕНИЯ И ЭКОНОМИКИ НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ"

© ОАО "ВНИИОЭНГ", 2015

# AUTOMATION, TELEMECHANIZATION AND COMMUNICATION IN OIL INDUSTRY

Scientific-Technical Journal

№ 12

12 issues per year

## CONTENTS

### MEASURING, AUTOMATION, TELEMECHANIZATION AND COMMUNICATION FACILITIES

- Kopytov D.V., Kuznetsov M.N., Babenkov M.V., Gurevich D.V.* Experience of ultrasound scanning with Lamb wave when controlling tank bottoms .....4
- Slinkina S.V., Muzipov Kh.N.* Acoustic technique of transmitting information from a well bottom when using turbine drilling of wells .....6
- Shangin E.S., Kolesnik S.V.* The problems of oil fields automation .....10

### INFORMATIONAL, MEASURING, EXPERT, EDUCATIONAL SYSTEMS

- Bashlykov A.A.* Intellectual systems supporting managerial decision-making as means of enhancing security of man-machine control over complicated technological objects .....13

### MATHEMATICAL MODELING AND SOFTWARE

- Stepankina O.A., Abramov A.S.* System principles of forecasting tasks formulation and solution for the automated supervising control in oil and gas industry .....19
- Markov P.V., Rodionov S.P.* The method of accelerations of serial numerical calculations for multiphase flow equations in porous media using continuous groups of symmetries .....23
- Igoshin D.E.* Numerical determination of permeability in cyclic structure media formed by branching channels .....30
- Maximov A.Yu.* Behaviour of the non-wetting liquid droplet in the three-dimensional model of a porous medium .....34
- Tagirova K.F., Vulfin A.M., Ramazanov A.R., Fatkhulov A.A.* Modified algorithm of definition of current parameters of a sucker-rod pumping unit operation based on dynamometry data .....37
- Karmanov A.V., Roslyakov D.A.* Assessment of pumps operational reliability of main petroleum product pipelines .....41
- Fedorenko V.V., Slyusarev G.V., Belov V.V.* Game-theoretic model of system reliability of a multiple pipeline .....45
- Gallyamov I.I., Gimazetdinova N.V., Savochkin V.I.* Pipe metal magnetization by permanent magnetic bar .....49

### JUBILEE DATES

- Vladimir Nikolaevich Esaulenko celebrates his 75<sup>th</sup> anniversary .....51
- Information about the articles .....56
- List of articles published in Scientific-Technical Journal "Automation, Telemechanization and Communication in Oil Industry" in 2015 .....59

Учредитель журнала – ОАО "ВНИИОЭНГ"

Генеральный директор – *А.Г. Лачков*

### Индекс журнала

58504 – по каталогу Агентства "Роспечать",  
10338 – по объединенному каталогу  
10339 "Пресса России".

Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № 77-12331 от 10.04.2002 г.

Журнал по решению Президиума ВАК Минобр-азования и науки РФ входит в "Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук".

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования.

Адрес редакции: 117420 Москва,  
ул. Наметкина, д. 14, корп. 2, ОАО "ВНИИОЭНГ".  
Тел. ред.: 332-00-35, 332-00-49.  
Адрес электронной почты: <vniiioeng@mcn.ru>,  
<vniiioeng@vniiioeng.ru>  
www.vniiioeng.mcn.ru

Подписано в печать 09.11.2015 г. Формат 84×108 1/16.  
Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 6,72.  
Уч.-изд. л. 6,8. Тираж 1500 экз. Заказ № 79.  
Цена свободная. ОАО "ВНИИОЭНГ" № 6078.

Печатно-множительная база ОАО "ВНИИОЭНГ".  
117420 Москва, ул. Наметкина, д. 14, корп. 2.



# СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ, АВТОМАТИЗАЦИИ, ТЕЛЕМЕХАНИЗАЦИИ И СВЯЗИ

УДК 620.1:622.276; 622.279

## ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО СКАНИРОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ВОЛН ЛЭМБА ПРИ КОНТРОЛЕ ДНИЩ РЕЗЕРВУАРОВ

Д.В. Копытов, М.Н. Кузнецов, М.В. Бабенков, Д.В. Гуревич  
(ОАО "Системы и технологии обеспечения безопасности. Техдиагностика")

Контроль состояния днищ резервуаров представляет собой техническую задачу, осложненную рядом факторов:

- проведение визуального и измерительного контроля металла днищ резервуаров возможно только с внутренней стороны. Днища резервуаров подвержены воздействию и рабочей среды, и электрохимических процессов, проходящих в грунте, что вызывает разнообразные дефекты на обеих поверхностях днища;

- выявление возникающих в днищах резервуаров дефектов возможно с помощью существующих методов ультразвукового контроля (УЗК), но в силу организационно-технологических причин контроль, как правило, проводится в сжатые сроки, при этом необходимо проконтролировать достаточно большие площади, использование традиционного УЗК на таких площадях (часто более 500 м<sup>2</sup>) трудоемко.

Существующие в настоящее время перспективные приборные комплексы для контроля днищ резервуаров достаточно дороги и требуют наличия квалифицированного персонала.

С целью оценки перспективности УЗК с использованием волн Лэмба [1] для контроля днищ резервуаров предприятием "Техдиагностика" был проведен комплекс экспериментальных работ, включающий изготовление экспериментальных образцов, отработку на них методики контроля, а также апробацию методики на объектах нефтегазовой отрасли. Нормативно-техническая документация (НТД) по ультразвуковому контролю с использованием волн Лэмба к настоящему моменту отсутствует, поэтому в эксперименте ставилась задача также подобрать оптимальные параметры настройки оборудования. Краткие результаты этих работ представлены ниже.

Общий принцип поиска дефектов состоит всылке импульса вдоль листа и приеме его частичного отражения от дискретного дефекта. При этом расстояние до точки отражения от дефекта оценивается на экране дефектоскопа, по времени пробега импульса. Нормальные волны Лэмба характерны тем, что распространяются только в плоских листах на весьма большие расстояния с охватом своим фронтом всей толщины листа. Особенностью контроля с помощью волн Лэмба является то, что плоскость фронта волн ориентирована нормально к поверхности объекта, поэтому по полученному эхо-сигналу от дефекта невозможно определить, на какой из поверхностей листа (верхней или нижней) он расположен.

Возникновение различных мод волн Лэмба определяется соотношением следующих параметров контроля: угол ввода, частота и толщина листа, при этом можно генерировать как волны изгиба, так и волны растяжения-сжатия. Предпочтителен выбор параметров, возбуждающих волны растяжения-сжатия (волны типа "S"), так как они в меньшей степени подвержены ослаблению от поверхностного демпфирования, механического контакта листа с жидкими или плотно прилегающими к нему твердыми средами.

Экспериментальные работы были проведены на резервуаре для амина производства фирмы TISSOT (Франция), эксплуатируемого с 1975 г. Основные технические характеристики резервуара, для справки, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные технические характеристики резервуара

| Наименование оборудования | Резервуар вертикальный цилиндрический |                    |               |
|---------------------------|---------------------------------------|--------------------|---------------|
| Изготовитель              | TISSOT (Франция)                      |                    |               |
| Год изготовления          | 1974                                  |                    |               |
| Год начала эксплуатации   | 1975                                  |                    |               |
| Рабочие параметры         | Давление, кгс/см <sup>2</sup>         | Температура, °C    | Рабочая среда |
|                           | Атмосферное                           | 89                 | Амин          |
| Основные элементы         | Диаметр, мм                           | Толщина стенки, мм | Материал      |
| Корпус                    | 16000                                 | 6,5...8,5          | E26.4NFA35501 |
| Днище                     | 16200                                 | 8,0                | E26.4NFA35501 |
| Кровля                    | 16000                                 | 5,0                | E26.4NFA35501 |

Ультразвуковой контроль резервуара выполнялся УЗ-дефектоскопом УД2В-П46 с преобразователями MWB 70-2 и DA-301 (частота 2 МГц), MWB 70-4 (4 МГц).

Подбор требуемых мод волн Лэмба осуществлялся для различных толщин образцов согласно данным табл. 2.

Таблица 2

| Угол ввода α, град | Частота f, МГц | Возникновение различных мод волн Лэмба при толщине стального листа h, мм |   |   |   |   |   |    |    |    |  |
|--------------------|----------------|--|---|---|---|---|---|----|----|----|--|
|                    |                | 4  | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |  |
| 60                 | 2,0            | —  | S | — | S | S | — | A  | —  | —  |  |
| 65                 | 2,0            | A  | A | — | S | S | A | S  | S  | —  |  |
| 70                 | 2,0            | —  | A | A | S | S | S | S  | —  | —  |  |
| 70                 | 4,0            | S  | S | — | — | — | — | —  | —  | —  |  |

Примечание. A – асимметричная мода; S – симметричная мода.

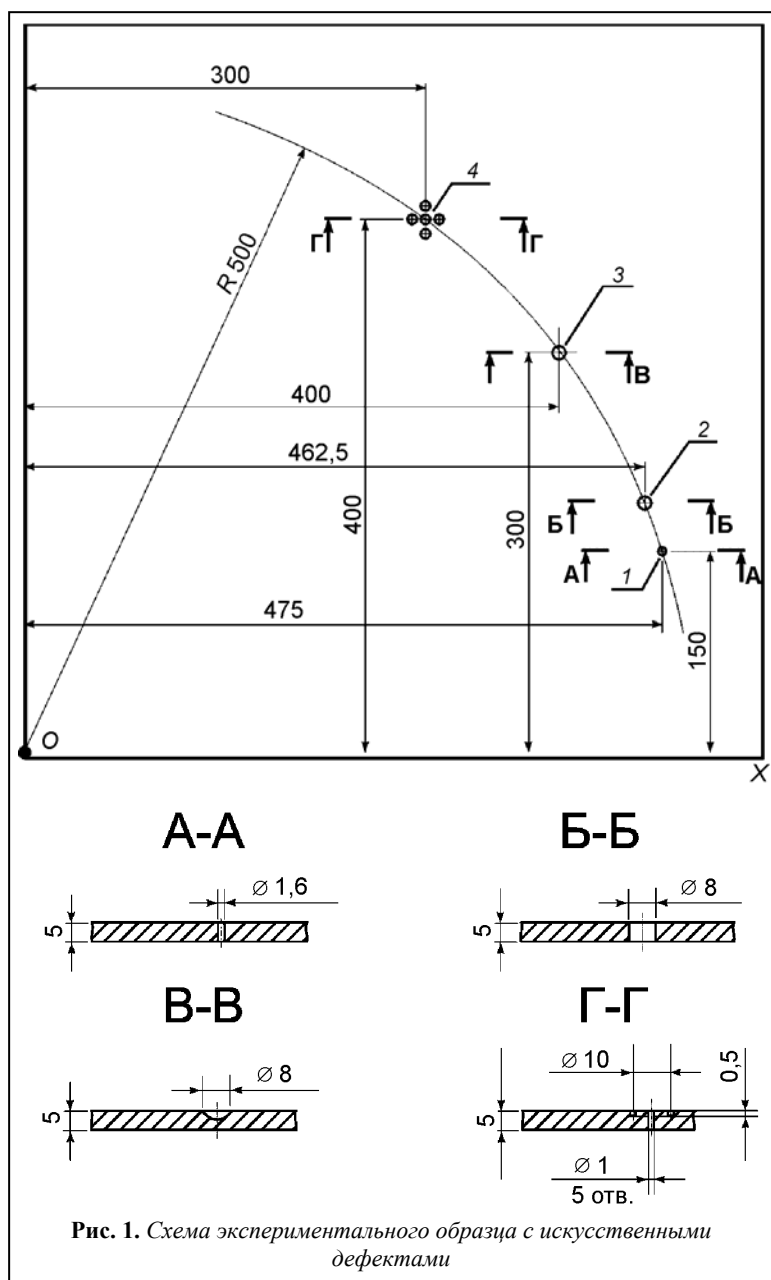


Рис. 1. Схема экспериментального образца с искусственными дефектами

Настройка прибора на поисковый уровень чувствительности проводилась на экспериментальном образце (рис. 1) с искусственными дефектами. Преобразователь устанавливался в точку "О" на образце, что соответствовало расстоянию 500 мм до искусственных отражателей 1–4. Настройка уровня чувствительности дефектоскопа осуществлялась путем выставления уровня чувствительности до момента, когда амплитуда эхо-сигнала от искусственного отражателя 2 составляла 100 % экрана дефектоскопа.

Ультразвуковое сканирование выполнялось триангуляционно-радарным способом [2] на размеченных участках днища резервуара (рис. 2) размером 1500×1500 см. Указанная триангуляционная система сканирования позволила пеленговать дефект в трех различных ракурсах.

На контролируемой поверхности были размечены секторы, в центре каждого из них намечены и зачищены до требуемой шероховатости точки для установки преобразователей. В каждой точке сетки нанесена контактная смазка. Затем в каждую точку устанавливались преобразователи и проводилось их вращение со скоростью, не превышающей скорость движения секундной стрелки, с одновременным слежением за экраном дефектоскопа. При обнаружении эхо-сигнала на экране дефектоскопа фиксировались направление луча преобразователя и показание расстояния до источника отражения сигнала в положении максимальной амплитуды отраженного импульса. Найденная зона отмечалась на поверхности листа. Таким образом зона предполагаемого дефекта локализовывалась с помощью дальномера дефектоскопа и фиксации положения преобразователя.

Если эхо-сигнал проявлялся в широком угловом секторе, то ширина зоны ограничивалась двумя крайними направлениями луча. Все обнаруженные зоны предполагаемых дефектов помечались мелом. Бездефектными зонами металла считались такие, в которых при сканировании с использованием волн Лэмба на поисковой чувствительности с учетом потерь, на экране дефектоскопа не наблюдался эхо-сигнал.

По результатам сканирования выбранных фрагментов днища было обнаружено три зоны предполагаемых дефектов, в которых амплитуда эхо-сигнала составляла до 30 % высоты экрана дефектоскопа. В обнаруженных зонах проведен ультразвуковой контроль сплошности с помощью прямого преобразователя DA-301, настройка УЗ-аппаратуры и контроль зоны выполнялись с учетом требований ГОСТ 22727-88 [3]. В одной из проконтролированных зон подтверждено наличие дефекта – утонение основного металла днища до 4,5 мм. В двух других зонах дефекты подтверждены не были.

#### Основные выводы и результаты эксперимента:

- ультразвуковой контроль с использованием волн Лэмба позволяет при относительно малых затратах и невысокой трудоемкости выявлять дефекты в плоских листах: утонения, коррозионные язвы и другие на достаточно больших расстояниях (500 мм);
- специальных требований к квалификации исполнителей нет, контроль способны выполнять специалисты ультразвукового контроля 2-го уровня;
- недостатком контроля является большое число ложных индикаций, возникающих от контакта контролируемых листов металла с жидкостями и другими конструкциями.