

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова»

**ДИНАМИКА
НЕЛИНЕЙНЫХ
ДИСКРЕТНЫХ
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ
И ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ**

**Материалы
XIII Всероссийской научно-технической
конференции**

ДНДС–2019

ЧЕБОКСАРЫ

2019

УДК 681.511.42.033(082)

Д44

Редакционная коллегия:

ректор А.Ю. Александров,
д-р техн. наук, профессор Г.А. Белов,
канд. техн. наук, доцент А.В. Серебрянников

*Печатается по решению Ученого совета
Чувашского государственного университета имени И.Н. Ульянова*

Динамика нелинейных дискретных электротехнических
Д44 и электронных систем: материалы 13-й Всерос. науч.-техн.
конф. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2019. 478 с.

ISBN 978-5-7677-2925-8

Рассматриваются вопросы математических основ и математического моделирования нелинейных дискретных систем, цифровой обработки сигналов, построения и анализа устройств и систем силовой электроники, систем электроэнергетики и электропривода.

Для научных работников, инженеров, менеджеров и студентов старших курсов.

УДК 681.511.42.033(082)

© Издательство

ISBN 978-5-7677-2925-8

Чувашского университета, 2019

ВОЗМОЖНОСТИ КОМПЛЕКСНОГО АНАЛИЗА УЛЬТРАЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ В СИСТЕМЕ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ВЕНТИЛЯТОРОМ

Ультразвуковые (УЗ) измерения могут эффективно использоваться для контроля воздушных потоков в вентиляторных установках [1, 3, 5]. При этом оказываются востребованы как импульсные [1], так и доплеровские схемы измерений [2, 3, 6]. Если импульсный УЗ контроль позволяет обеспечить более высокую точность измерения средней (интегральной) скорости потока [1], то доплеровские измерения, основанные на оценке частотного сдвига УЗ сигнала, позволяют более эффективно контролировать наличие фазовых включений и турбулентности, на которых и происходит рассеяние УЗ волны [2–4].

В работе предлагается комплексный ультразвуковой (импульсный и доплеровский) подход к дистанционному контролю воздушного потока вентиляторной установки. Соответствующая схема измерений и пространственное расположение приемо-передающих ультразвуковых преобразователей (УЗП) показаны на рис. 1.

Для контроля неоднородного турбулентного потока, генерируемого вентилятором, используется система разнесенных приемо-передающих УЗП. Траектория распространения УЗ сигналов схематично показана на рис. 1.

1. Лучи 2 и 3 соответствуют импульсным пролетным измерениям, традиционным для УЗ расходомеров [1]. Разница в задержке импульсов, распространяющихся под углом по и против направления потока позволяет с достаточно высокой точностью оценить среднюю скорость потока. При этом измерения задержки не дают возможность анализировать профиль скорости потока, степень его турбулентности и угловой расходимости.

2. Для оценки турбулентности и профиля скорости потока служат доплеровские измерения, осуществляемые по траекториям 4 и 5. Как было показано ранее [3], форма спектра доплеровского рассеяния ультразвука на турбулентности определяется профилем скорости потока и отличается для обратного рассеяния (траектория 5) и

доплеровского рассеяния по схеме излучатель-приемник (траектория 4). Соответствующие спектры показаны на рис. 2.

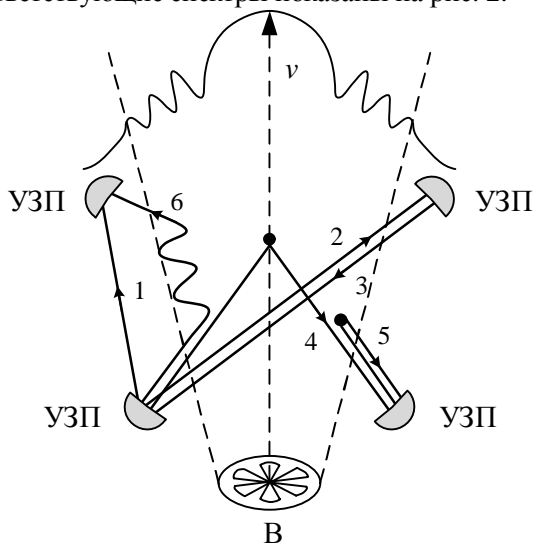


Рис. 1. Схема измерений и пространственное расположение приемо-передающих УЗ преобразователей: 1 – прямой луч; 2, 3 – прямые лучи по и против потока; 4, 5 – сигналы доплеровского рассеяния; 6 – волноводное распространение (локализация в турбулентном слое)

3. Измерения по траектории 1 (вне потока в однородной среде) позволяют получить эталон задержки и форму УЗ сигнала, прошедшего между преобразователями. Этот эталонный сигнал позволяет проводить корреляционную обработку при импульсных измерениях [1], оценить потери, спектральные характеристики зондирующих импульсов.

4. Относительная задержка между прямым и отраженным от турбулентной границы сигналом (траектории 1 и 6) позволяет количественно оценить степень турбулентности на границе потока.

Возможность формирования и модуляции зондирующих УЗ сигналов, а также их цифровая корреляционная и спектральная обработка вместе с цифровой коммутацией зондирования (изменением режимов импульсных и доплеровских измерений, изменением роли УЗ преобразователей – излучения на приемник и наоборот) позволяют осуществить комплексный контроль как

средней скорости потока, так и его изменчивости, включая степень турбулентности [7] и наличие в ней примесей [4] (что существенно сказывается на интенсивности рассеянных сигналов).

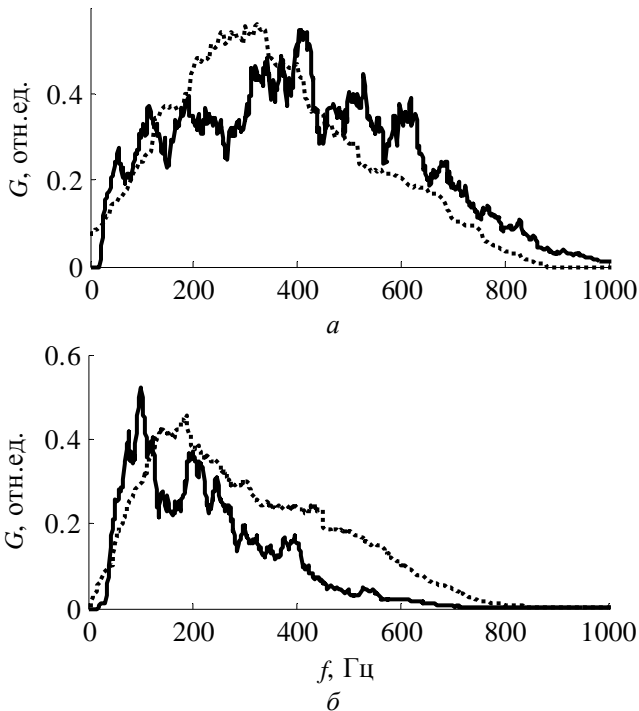


Рис. 2. Экспериментальные (сплошная) и расчетные (пунктирная) доплеровские спектры для совмещенных (траектория 5) (а) и разнесенных (траектория 4) УЗП (б)

Предлагаемый бесконтактный контроль потока на основе распределенной системы датчиков может рассматриваться при многолучевом распространении, как задача акустической томографии [8]. При этом обратная задача решается не на основе рефракции (лучевого приближения), а комплексно с учетом рассеяния и волноводных эффектов [7, 9]. Разработка соответствующих частных алгоритмов зондирования и обработки сигналов должна строиться в зависимости от задач, для которых осуществляется контроль потока вентиляторной установки.

Литература

1. *Бычкова И.Ю., Бычков А.В., Славутский Л.А.* Цифровая фазовая модуляция и корреляционная обработка ультразвуковых сигналов для импульсных измерений в неоднородной среде // Приборы и техника эксперимента. – 2018. – № 3. – С. 114–119.

2. *Костюков А.С., Никандров М.В., Славутский Л.А.* Изменчивость случайной погрешности ультразвуковых импульсных и доплеровских измерений в неоднородной среде // Нелинейный мир. – 2009. – Т. 7. – № 9. – С. 700–705.

3. *Ядарова О.Н., Славутский Л.А.* Доплеровский ультразвуковой контроль открытого воздушного потока // Вестник Чувашского университета. – 2012. – № 3. – С. 240–243.

4. *Ядарова О.Н., Сучков В.О., Славутский Л.А.* Дистанционный ультразвуковой контроль воздушного потока с фазовыми включениями // Вестник Чувашского университета. – 2015. – № 3. – С. 129–134.

5. *Сучков В.О., Ядарова О.Н., Славутский Л.А.* Дистанционный ультразвуковой контроль воздушного потока на основе искусственной нейронной сети // Вестник Чувашского университета. – 2015. – № 1. – С. 207–212.

6. *Ядарова О.Н., Охоткин Г.П., Славутский Л.А.* Система управления приводом вентилятора на основе доплеровского ультразвукового контроля воздушного потока // Электротехника. – 2017. – № 7. – С. 27–30.

7. *Бычкова И.Ю., Славутский Л.А.* Экспериментальная оценка применимости лучевого приближения при рассеянии ультразвуковых импульсов в турбулентном потоке воздуха // Нелинейный мир. – 2018. – Т. 16. – № 4. – С. 11–16.

8. *Славутский Л.А., Никандров М.В., Турханов Д.Б.* Контроль профиля потока жидкости по модовой структуре ультразвукового сигнала // Техническая акустика. – 2003. – Т. 3. – С. 152–160.

9. *Бычкова И.Ю., Бычков А.В., Славутский Л.А.* Локализация ультразвука при скользящем распространении в турбулентном потоке воздуха // Южно-Сибирский научный вестник. – 2019. – № 2. – С. 18–22.

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕОРИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИСКРЕТНЫХ СИСТЕМ. ДИСКРЕТНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ.....	4
<i>Мочалов М.Ю.</i> Матричные методы в исследовании динамики импульсных источников питания.....	4
<i>Семенов Ю.М.</i> Об одной оптимизационной проблеме в теории управляемых объектов	6
<i>Потапов А.А.</i> Фракталы, текстуры и скейлинг в радиофизике и радиоэлектронике: 40 лет научных разработок.....	8
<i>Обычайко Д.С., Шихин В.А.</i> Индикативные диаграммы принятия решения как средство обеспечения эксплуатационной надёжности.....	10
<i>Тобоев В.А.</i> Динамический критерий выявления участков стационарности в случайных процессах	14
<i>Тобоев В.А.</i> Дискретные спектры акустических сигналов ограниченной длительности.....	19
<i>Яушев С.Т., Инсаров А.Т., Файзуллин Р.Р.</i> Оценка степени самоподобия непуассоновского трафика, представленного многомодальным распределением Паскаля.....	23
<i>Макаров А.В., Макаров В.Г., Афанасьев А.Ю.</i> Оптимальное управление гибридной силовой установкой транспортного средства при заданном суммарном моменте.....	25
<i>Макаров А.В., Макаров В.Г., Афанасьев А.Ю.</i> Оптимальное управление гибридной силовой установкой транспортного средства при стационарном движении	27
<i>Дымов И.С., Котин Д.А.</i> Разработка алгоритма адаптивного управления активным электромагнитным подшипником по состоянию	29
<i>Ильин А.А., Родионов Р.В., Скитович С.В.</i> Разработка системы управления вакуумным насосом	31
<i>Малафеев С.И., Малафеева А.А.</i> Взаимодействие оператора и техники в эргатических мехатронных системах.....	33
<i>Малафеев С.И., Малафеева А.А.</i> Управление в мехатронных системах при низких скоростях.....	35

<i>Буткевич Ю.Р., Афанасьев В.В.</i> Математическое моделирование управляемой дискретно-нелинейной системы Ван-дер-Поля.....	37
<i>Давыдов В.Г., Афанасьев В.В.</i> Математическое моделирование дискретно-нелинейной системы Дмитриева–Кислова.....	39
<i>Герасимов С.С., Афанасьев В.В.</i> Математическое моделирование нелинейных дискретных устройств режески сигналов системы Чуа.....	41
<i>Попов Н.С., Аносов В.Н.</i> Повышения энергоэффективности безрельсового транспорта за счет реализации оптимальных алгоритмов управления.....	43

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИСКРЕТНЫХ СИСТЕМ И ПРОЦЕССОВ. ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ.....	45
---	----

<i>Евдокимов Ю.К., Катков В.И.</i> Метод контроля дуговых и искровых разрядов по их радиочастотному спектру.....	45
<i>Евдокимов Ю.К., Гладнев К.С.</i> Калориметрический метод контроля тепловыделения в энергетических установках, основанный на применении цифровой модели.....	47
<i>Семенов В.И., Чучкалов С.И., Шурбин А.К.</i> Синтез цифровых фильтров в частотной области.....	49
<i>Изосимова Т.А., Максимова М.В.</i> Функциональная модель системы биометрической идентификации.....	52
<i>Бычкова И.Ю., Бычков А.В.</i> Возможности комплексного анализа ультразвуковых сигналов в системе контроля и управления вентилятором.....	54
<i>Бычков А.В.</i> Низкочастотные вибрации электрооборудования: ультразвуковой импульсный контроль.....	58
<i>Иванов А.В., Моряков Р.А., Славутский Л.А.</i> Нейросетевая идентификация квазигармонического сигнала со случайной модуляцией.....	62
<i>Галанина Н.А., Иванова Н.Н.</i> Моделирование методов быстрого спектрального анализа на языке описания аппаратуры VHDL.....	66

Научное издание

**ДИНАМИКА НЕЛИНЕЙНЫХ ДИСКРЕТНЫХ
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ**

Материалы XIII Всероссийской научно-технической конференции

Публикуются в авторской редакции
Отв. за выпуск А.В. Серебрянников

Согласно Закону № 436-ФЗ от 29 октября 2010 года
данная продукция не подлежит маркировке

Подписано в печать 04.06.19. Формат 60×84/16.
Бумага писчая. Печать офсетная. Гарнитура Times.
Усл. печ. л. 27,7. Уч.-изд. л. 26,5. Тираж 300 экз. Заказ 696.

Издательство Чувашского университета
Типография университета
428015 Чебоксары, Московский просп., 15