

ISSN 2663-4228 (Print)
ISSN 2663-4236 (Online)

Вестник Донецкого национального университета



НАУЧНЫЙ
ЖУРНАЛ

*Основан в 1997 году,
«Серия Г: Технические науки»
основана в 2018 году*

Серия Г:
Технические
науки

4/2022

Редакционная коллегия журнала

«Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки»

Главный редактор – д-р техн. наук, проф. **В.В. Данилов.**

Зам. главного редактора – канд. техн. наук **И.А. Третьяков.**

Ответственный секретарь – канд. техн. наук **Е.Д. Пометун.**

Члены редколлегии: канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр. **П.В. Асланов;** д-р техн. наук, проф. **С.А. Горожанкин;** канд. техн. наук, доц. **В.Д. Коренев;** канд. техн. наук **Е.М. Силенко;** канд. техн. наук, ст. науч. сотр. **А.А. Курушин;** канд. техн. наук, доц. **И.А. Молоковский;** канд. техн. наук, доц. **В.В. Паслён;** канд. физ.-мат. наук, доц. **В.И. Тимченко;** д-р техн. наук, доц. **К.А. Выговтов;** канд. техн. наук, доц. **Т.В. Ермоленко;** канд. техн. наук, доц. **Т.В. Завадская;** д-р техн. наук, доц. **С.А. Зори;** академик РАН, д-р техн. наук, проф. **И.А. Соколов;** д-р техн. наук, проф. **М.Н. Чепцов;** канд. техн. наук **Т.В. Шарий;** д-р техн. наук, проф. **А.Б. Бирюков;** канд. техн. наук, доц. **С.В. Гридин;** д-р техн. наук, проф. **С.М. Сафьянц;** д-р физ.-мат. наук, д-р техн. наук, проф. **В.К. Толстых;** д-р техн. наук, проф. **Г.В. Аверин;** канд. техн. наук, доц. **Т.С. Башеваия;** д-р техн. наук, проф. **С.В. Борщевский;** д-р техн. наук, проф. **Е.В. Горохов;** председатель Госкомэкополитики при Главе ДНР **Р.В. Кишкань;** д-р техн. наук, проф. **Н.Г. Насонкина;** д-р хим. наук, проф. **А.И. Сердюк;** д-р архитектуры, доц. **Н.В. Шолух.**

The Editorial Board of the journal

«Bulletin of Donetsk National University. Series G: Technical Sciences»

The Editor-in-Chief – Dr. of tech., prof. **V.V. Danilov.**

The Deputy of the Editor-in-Chief – Cand. of tech. **I.A. Tretiakov.**

Assistant Editor – Cand. of tech. **E.D. Pometun.**

The Members of the Editorial Board: Cand. of phys. and math., senior researcher **P.V. Aslanov;** Dr. of tech., prof. **S.A. Gorozhankin;** Cand. of tech., docent **V.D. Korenev;** Cand. of tech. **E.M. Silenko;** Cand. of tech., senior researcher **A.A. Kurushin;** Cand. of tech., docent **I.A. Molokovskii;** Cand. of tech., docent **V.V. Paslen;** Cand. of phys. and math., docent **V.I. Timchenko;** Dr. of tech., docent **K.A. Vytovtov;** Cand. of tech., docent **T.V. Ermolenko;** Cand. of tech., docent **T.V. Zavadskaiia;** Dr. of tech., docent **S.A. Zori;** RAS Academician, Dr. of tech., prof. **I.A. Sokolov;** Dr. of tech., prof. **M.N. Sheptsov;** Cand. of tech. **T.V. SHarii;** Dr. of tech., prof. **A.B. Biriukov;** Cand. of tech., docent **S.V. Gridin;** Dr. of tech., prof. **S.M. Safiants;** Dr. of phys. and math., Dr. of tech., prof. **V.K. Tolstykh;** Dr. of tech., prof. **G.V. Averin;** Cand. of tech., docent **T.S. Bashevaia;** Dr. of tech., prof. **S.V. Borshchevskii;** Dr. of tech., prof. **E.V. Gorokhov;** Chairman of the State Committee on Ecological Policy at the Head of the DPR **R.V. Kishkan;** Dr. of tech., prof. **N.G. Nasonkina;** Dr. of chem., prof. **A.I. Serdiuk;** Dr. of arch., docent **N.V. SHolukh.**

Адрес редакции: ГОУ ВПО «ДОННУ», ул. Университетская, д. 24, г. Донецк, ДНР, РФ, 283001
Тел.: +7 (856) 302 07 81 **E-mail:** vestnik.donnu.g@donnu.ru **URL:** <http://donnu.ru/vestnikG>

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (**Перечень ВАК**) (Приказы МОН ДНР №440 от 06.03.2020 г., №42 от 26.01.2021 г.) по следующим группам научных специальностей (специальностям): **05.11.00** – Приборостроение, метрология и информационно-измерительные приборы и системы; **05.12.00** – Радиотехника и связь; **05.13.00** – Информатика, вычислительная техника и управление; **05.14.04** – Промышленная теплоэнергетика; **05.23.19** – Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства.

Журнал включен в национальную информационно-аналитическую систему **РИНЦ** (Лицензионный договор № 378-06/2016 от 24.06.2016 г. в ред. от 27.03.2019 г.): http://elibrary.ru/title_about_new.asp?id=69984

Журнал включен в международную индексационную наукометрическую базу **Index Copernicus International Journals Master List:** <http://journals.indexcopernicus.com/search/details?id=63327>

*Печатается по решению Ученого совета ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»:
Протокол №8 от 30.12.2022 г.*

**Вестник
Донецкого
национального
университета**

Серия Г: Технические науки

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

ОСНОВАН В 1997 ГОДУ,
СЕРИЯ Г ОСНОВАНА В 2018 ГОДУ

Номер посвящён 85-летию
Донецкого национального
университета

№ 4/2022

СОДЕРЖАНИЕ

Вступительное слово	3
ЭЛЕКТРОНИКА, ФОТОНИКА, ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И СВЯЗЬ	
<i>Лебедев В.Н., Пометун Е.Д.</i> Аэродинамический стенд для исследования динамических характеристик первичных преобразователей	4
<i>Павловская К.А., Лозинская В.Н.</i> Разработка алгоритма обнаружения дождя для повышения производительности мобильной транспортной сети	9
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ	
<i>Третьяков И.А., Яновский А.В., Данилов В.В.</i> Элементы автоматизированных систем измерения параметров поверхностных акустических волн посредством методов опорных пучков	18
<i>Горбатенкова А.И., Бондаренко В.И.</i> Разработка и реализация макета бионического протеза кисти руки	27
<i>Булыгин В.В.</i> Максимизация коэффициента однозначности для объектов, состоящих из множества признаков	34
<i>Федчук А.В., Бондаренко В.И.</i> Применение методов глубокого обучения для повышения качества изображения	39
ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА	
<i>Шелехова О.Г.</i> Использование безитерационного метода расчета коэффициента мощности в автоматизированных системах контроля технического состояния асинхронного двигателя	45
ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ	
<i>Хуррамов М.Г.</i> Ресурсосберегающий способ доочистки сточных вод нефтебазы	51
ИНФОРМАЦИОННАЯ РУБРИКА	
Правила для авторов	58

Bulletin of Donetsk National University

SCIENTIFIC JOURNAL

FOUNDED IN 1997,
SERIES G FOUNDED IN 2018

Number dedicated to the 85th
anniversary of Donetsk National
University

Series G: Technical sciences

№ 4/2022

CONTENTS

Opening remark 3

ELECTRONICS, PHOTONICS, INSTRUMENT ENGINEERING AND COMMUNICATION

Lebedev V.N., Pometun E.D. Aerodynamic stand for investigation of dynamic characteristics of primary converters 4

Pavlovskaya K.A., Lozinskaia V.N. Development of a rain detection algorithm to improve the performance of the mobile transport network 9

INFORMATION TECHNOLOGY AND TELECOMMUNICATIONS

Tretiakov I.A., Ivanovskii A.V., Danilov V.V. Elements of automated systems for measuring parameters of surface acoustic waves by means of reference beam methods 18

Gorbatenkova A.I., Bondarenko V.I. Development and implementation of a layout of a bionic prosthesis of the hand 27

Bulygin V.V. Maximizing the uniqueness coefficient for objects consisting of a set of features 34

Fedchuk A.V., Bondarenko V.I. Application of deep learning methods to improve image quality 39

ENERGETICS AND ELECTRICAL ENGINEERING

Shelekhova O.G. Use of the non-iteration method of calculation of the power factor in automated systems of control of the technical condition of asynchronous motor 45

TECHNOSPHERE SAFETY

Khurramov M.G. Resource-saving method of post-treatment of sewage tank farm 51

INFORMATION SECTION

Instructions for authors 58

Уважаемые коллеги!

В уходящем 2022 году Донецкий национальный университет отпраздновал 85-летний юбилей. Датой основания университета считается 15 июля 1937 года – дата постановления Совета Народных Комиссаров УССР об открытии Сталинского (с 1961 года Донецкого) государственного педагогического института.

14 сентября 1964 года Донецкий государственный педагогический институт был подчинен Харьковскому государственному университету и начал рассматриваться как Донецкий филиал Харьковского ордена Трудового Красного Знамени государственного университета им. А. М. Горького.

Постановлением Совета Министров Союза Советских Социалистических Республик № 421 от 28 мая 1965 г. за подписью Председателя А. А. Косыгина на базе Донецкого филиала Харьковского государственного университета им. А. М. Горького организован Донецкий государственный университет в составе 6 факультетов, в т. ч. и нашего - физического (с 2011 года физико-технический).

11 сентября 2000 года Донецкому государственному университету присвоен статус национального университета.

В сентябре 2014 года Донецкий национальный университет перешел под юрисдикцию Донецкой Народной Республики.

В 2019-2021 гг. университет прошел несколько этапов аккредитации Федеральной службой по надзору в сфере образования и науки Российской Федерации.

Сегодня, не смотря на все трудности, университет уверенно продолжает интеграцию в единое научно-образовательное пространство Российской Федерации.

К большому сожалению, в сложившейся в уходящем году тяжёлой ситуацией торжественно отметить эту дату не удалось, однако редакционная коллегия приняла решение посвятить 3 и 4 номера нашего журнала 2022 года прошедшему юбилею.

Надеемся на плодотворное сотрудничество с Вами в наступающем 2023 году!

Зам. главного редактора



И.А. Третьяков

Э Л Е К Т Р О Н И К А , Ф О Т О Н И К А ,
П Р И Б О Р О С Т Р О Е Н И Е И С В Я З Ъ



УДК 62-1/-9

АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРВИЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

© 2022 *Пометун Е.Д., Лебедев В.Н.*

В настоящей работе приводится описание аэродинамического стенда, применяющегося при исследовании динамических характеристик первичных преобразователей, в частности, на основе малогабаритных NTC-термисторов.

Ключевые слова: динамические характеристики, аэродинамический стенд, термопреобразователь.

Введение. Динамические характеристики первичных преобразователей необходимы для оптимизации систем регулирования, в частности, использующих пропорционально – интегрально – дифференциальные (ПИД) регуляторы. В то же время в нормативно-технической литературе данных для настройки регуляторов недостаточно. Например, для термисторов с отрицательным температурным коэффициентом (NTC) приводится постоянная времени при нулевой скорости воздушного потока. Проблема в том, что инерция преобразователя сильно зависит от внешних условий, в частности, от числа Рейнольдса и, задавая при расчете ПИД регулятора табличное значение, мы тем самым ухудшаем общие показатели регулирования и, соответственно, технические и экономические характеристики контролируемых процессов. В ряде случаев запаздывание регулирования может привести к выходу установок за пределы допустимых параметров.

При выборе коэффициентов регулятора необходимо знать функциональную зависимость между определенным физическим параметром и постоянной времени первичного преобразователя. Как правило, таким параметром является скорость газового потока. В последнее время широкое распространение получили цифровые методы моделирования, однако актуальным остаются практические измерения, позволяющие получать достоверные результаты для конкретных типов и конструкций первичных преобразователей.

Основная часть. Для измерения постоянной времени используются несколько методов, как совокупности приемов сравнения измеряемой величины с ее единицей или соотнесения со шкалой в соответствии с реализованным принципом измерений. Широкое распространение получили различные тепловые методы измерения времени реакции на изменение условий теплообмена.

Процесс теплообмена первичного преобразователя с окружающей средой, как правило, не может быть описан точным математическим соотношением, т.к. в него входят величины индивидуальные для конкретного типа преобразователей. Например, при использовании идентичных NTC термисторов, взятых из одной партии, градуировочные характеристики термоанемометров значительно отличаются. При этом погрешность измерения скорости, в зависимости от конкретного экземпляра термистора, может составлять десятки процентов. Динамические характеристики

термопреобразователей, как правило, менее вариабельны, зависимость между скоростью потока и постоянной времени сохраняется для всех преобразователей одного типа, имеющих одинаковую конструкцию.

Исследование динамических характеристик термопреобразователей осуществляется путем воздействия на датчик модели испытательного сигнала прямым и косвенным способами. Одним из испытательных сигналов является ступенчатое воздействие. Применение косвенных методов, особенно для устройств, в которых первичный преобразователь охвачен глубокой отрицательной связью, как в термоанемометре постоянной температуры, приводит к весьма значительным погрешностям [1].

С целью физического моделирования ступенчатого испытательного сигнала в Донецком национальном университете предложен прямой способ определения динамических характеристик термопреобразователей. Способ основан на создании стратифицированного воздушного потока по скорости и температуре, а также быстрым перемещением датчика между слоями [2].

Для реализации предложенного способа была изготовлена специальная установка – аэродинамический стенд. Принцип действия состоит в следующем. Создается два независимых потока воздуха. В каждом потоке плавно регулируется скорость, а в одном из потоков, дополнительно может устанавливаться температура. После прямого участка и специальных устройств, выравнивающих профиль и уменьшающих пульсации скорости, потоки «совмещаются». Конструкция зоны смешения представлена на рисунке 1. В данной области располагается тонкая перегородка. Происходит незначительное смешивание потоков, при этом, непосредственно за перегородкой формируется четко выраженная область стратифицированного течения.

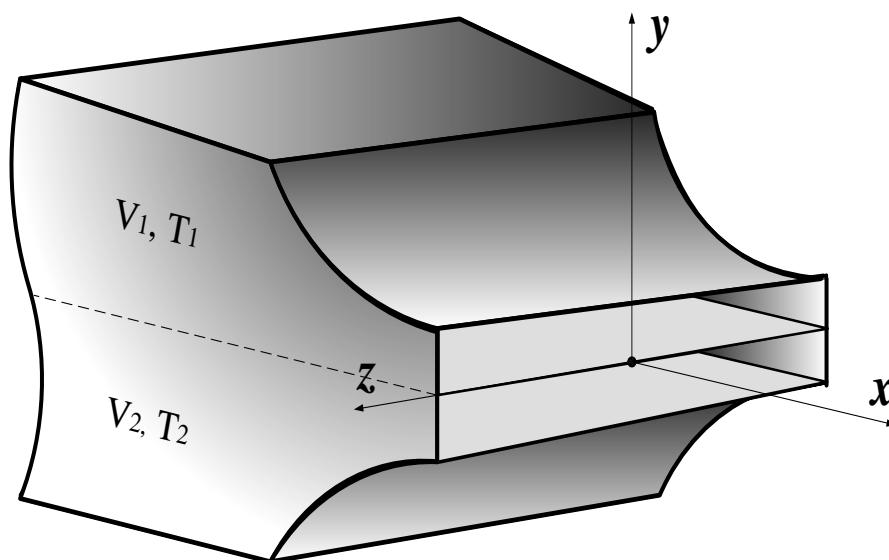


Рис. 1. Рабочая зона аэродинамического стенда

Структурная схема аэродинамической трубы представлена на рисунке 2. На рисунке 2 обозначено: 1 – блок управления скоростью, 2, 3 – вентиляторы в верхнем и нижнем каналах, 4 – устройство для регулирования температуры, 5 – нагреватель, 6 – термометр, 7,8 – конфузоры, 9 – устройство перемещения датчика, 10 – исследуемый измерительный преобразователь, 11 – электронная аппаратура (термометр, термоанемометр и др.).

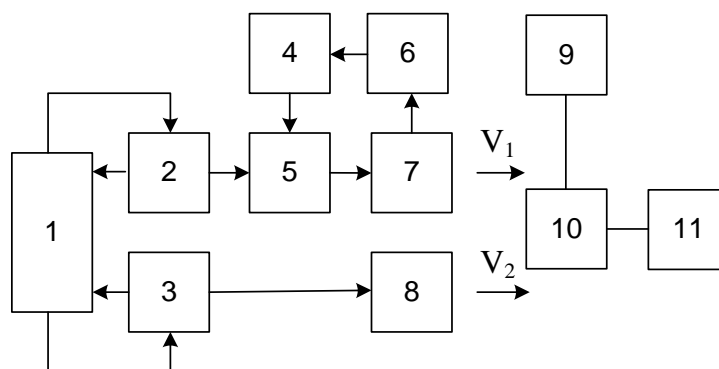
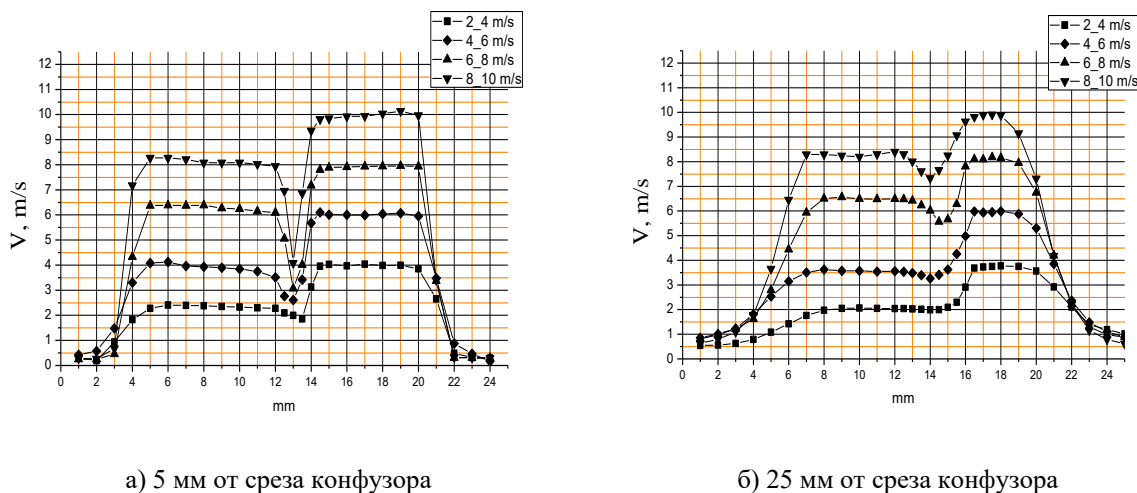


Рис. 2. Структурная схема аэродинамического стенда

Измерение скорости потока в различных сечениях и на различных расстояниях от перегородки выполнялось с помощью проволочного термоанемометра постоянной температуры. Достоинством метода является хорошая детализация распределения скорости за перегородкой. В качестве чувствительного элемента использовалась нагретая нить диаметром 8 мкм и координатное устройство с микрометрическим винтом. Это позволило достоверно сканировать профиль скорости с шагом меньше 1 мм. Для обработки полученных результатов использовалась виртуальная лаборатория LabView и программа термокомпенсации [3]. Результаты измерений представлены на рисунке 3.



а) 5 мм от среза конфузора

б) 25 мм от среза конфузора

Рис. 3. Профили скорости на различных расстояниях от среза конфузоров аэродинамической трубы

Полученные результаты показывают, что с увеличением расстояния от конфузора градиент скорости в зоне смешения (на границе слоев) уменьшается. Одновременно уменьшается относительная величина минимума, вызванная торможением потока на перегородке, разделяющей слои, но при этом увеличивается расстояние между установившимися значениями скорости в каждой из страт. Например, на расстоянии 20 ÷ 25 мм от среза конфузоров, относительная величина минимума составляла около 50% от максимальной скорости. Увеличение этого расстояния приводит к искажению ступенчатого воздействия (к увеличению зоны смешивания между слоями), что, в свою очередь, не позволяет исследовать датчики, имеющие постоянную времени, сравнимую со временем пересечения области смешения [4].

На основании полученных результатов, была разработана следующая методика измерения постоянной времени первичного преобразователя. Устанавливаются различные скорости потока по двум каналам. Преобразователь, например термистор типа Ersos G550, закрепляется в центре одной из страт. С помощью специального устройства термистор быстро перемещается в центр второй страты. Изменение электрического сигнала производится с помощью быстродействующего аналогово-цифрового преобразователя, адаптированного с виртуальной лабораторией.

Перемещение первичного преобразователя выполнялось с помощью электромагнитного реле, питающегося коротким импульсом высокого напряжения (до 1кВ). Время ускорения было значительно меньше, чем время равномерного движения. Фактором, ограничивающим скорость перемещения, является механическая прочность термистора.

Описанный стенд позволяет получить экспериментальные данные по динамическим характеристикам первичных преобразователей различного типа. Например, стенд позволяет сравнивать результаты прямого и косвенного измерений динамических характеристик термометров. В качестве примера на рисунке 4 приведены результаты сравнения динамических характеристик термометра, изготовленного на основе термистора.

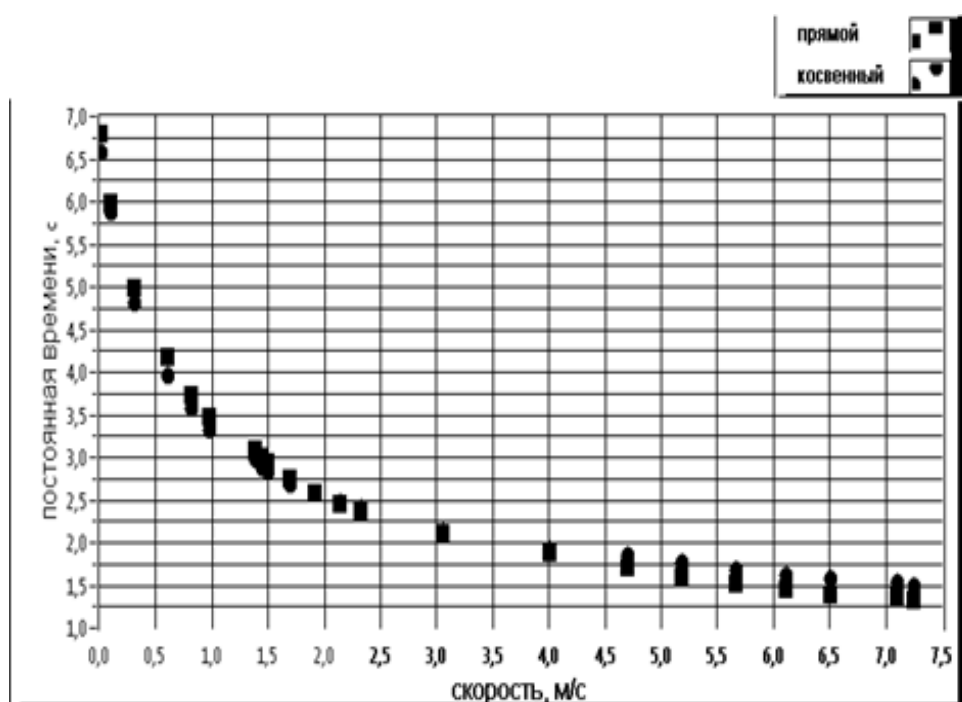


Рис. 4. Сравнение прямого и косвенного способов измерения постоянной времени преобразователя температуры на основе термистора

Необходимо отметить, что полученные результаты позволяют обосновать использование косвенного метода измерений. В ряде случаев, этот позволяет выполнять диагностику состояния термометров, например степень коррозии защитной оболочки, без его демонтажа с промышленной установки.

Выводы. Данный аэродинамический стенд показал хорошие результаты при измерении динамических характеристик малогабаритных первичных преобразователей на основе термисторов и широко используется в научных и образовательных целях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оценка погрешности измерения средней скорости с помощью термоанемометра в высокотурбулентных газовых потоках / Е. Д. Пометун, Н. И. Болонов, В. В. Белоусов [и др.]. – Текст : электронный // Системы обеспечения техносферной безопасности : материалы VI Всероссийской научной конференции и школы для молодых ученых (с международным участием), Таганрог, Россия 4 – 5 октября 2019 г. – Науч. электрон. изд. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Изд-во Южного федер. ун-та, 2019. – С. 142–144.
2. Моделирование функции Хэвисайда в рабочей части аэродинамической трубы / Е. Д. Пометун, Н. И. Болонов, В. В. Белоусов, В. Н. Лебедев // Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения : сборник статей 9-й международной научно-практической конференции в рамках 19-й международной агропромышленной выставки "Интерагромаш-2016", 2 марта – 4 марта 2016 г., г. Ростов-на-Дону. – Ростов-на-Дону : ДГТУ, 2016. – С. 267–269.
3. Пометун, Е. Д. Разработка автоматизированной системы научных исследований для аэродинамического эксперимента / Е. Д. Пометун, Р. А. Хрипунов, А. В. Васильева // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. – 2020. – № 1. – С. 4–8.
4. Пометун, Е. Д. Оптимизация сужающего устройства для моделирования функции Хэвисайда в рабочей части аэродинамической трубы / Е. Д. Пометун, Н. И. Болонов, В. Н. Лебедев // Донецкие чтения 2016. Образование, наука и вызовы современности : материалы I Международной научной конференции г. Донецк, 16–18 мая 2016 г. / редкол : С. В. Беспалова (науч. ред.) [и др.]. – Ростов-на-Дону : Изд-во Южного федер. ун-та, 2016. – Т. 1 : Физико-математические, технические науки и экология – С. 184 – 186.
5. Пометун, Е. Д. Экспериментальные стенды для исследования динамических характеристик измерительных преобразователей температуры / Е. Д. Пометун, Н. И. Болонов, В. Н. Лебедев // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. – 2018. – № 1. – С. 4–12.
6. Исследование динамических характеристик термометра на основе NTC-термистора / Е. Д. Пометун, В. В. Белоусов, Н. И. Болонов, В. Н. Лебедев // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. – 2019. – № 1. – С. 4–13.

Поступила в редакцию 10.10.2022 г., рекомендована к печати 25.10.2022 г.

AERODYNAMIC STAND FOR INVESTIGATION OF DYNAMIC CHARACTERISTICS OF PRIMARY CONVERTERS

Pometun E.D., Lebedev V.N.

This paper describes an aerodynamic stand used in the study of the dynamic characteristics of primary converters, in particular, based on small-sized NTC thermistors.

Keywords: dynamic characteristics, aerodynamic stand, thermal converter.

Пометун Екатерина Дмитриевна

кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры физики неравновесных процессов метрологии и экологии им. И.Л. Повха ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», Российская Федерация, ДНР, г. Донецк.
E-mail: alternativa19031992@rambler.ru

Pometun Ekaterina Dmitrievna

Senior Lecturer at Department of Physics of Nonequilibrium Processes, Metrology and Ecology named after I.L. Povkh of Donetsk National University,
Russian Federation, DPR, Donetsk.

Лебедев Владимир Николаевич

старший преподаватель, заведующий лабораторией кафедры физики неравновесных процессов метрологии и экологии им. И.Л. Повха ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», Российская Федерация, ДНР, г. Донецк.

Lebedev Vladimir Nikolaevich

Senior Lecturer, Head of the Laboratory at Department of Physics of Nonequilibrium Processes, Metrology and Ecology named after I.L. Povkh of Donetsk National University,
Russian Federation, DPR, Donetsk.

УДК621.395

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОБНАРУЖЕНИЯ ДОЖДЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МОБИЛЬНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ

© 2022 Павловская К.А., Лозинская В.Н.

В настоящей работе проведен анализ проблем обеспечения надежности распределительных сетей мобильного оператора связи, предложен алгоритм обнаружения дождя для повышения производительности сети оператора связи.

Ключевые слова: сеть, сигнал, маршрутизация, надежность, мощность, трафик.

Введение. За последнее десятилетие интернет-трафик значительно вырос в следствии появления новых технологий, отраслей и приложений. В беспроводных сетях рост трафика обусловлен как увеличением числа абонентов, имеющих смартфоны, так и продолжающимся увеличением среднего объема данных на одного абонента.

Современные мобильные сети должны не только справляться с постоянно растущими потребностями в трафике, но и обеспечивать хорошее качество обслуживания пользователей. Зоны покрытия сетей распространяются на большие территории и поддерживают сочетание голосового, видео, текстового и информационного трафика, исходящего и поступающего на мобильные устройства. Весь этот трафик должен передаваться между мобильными сотовыми базовыми станциями и базовой сетью [1]. Для качественной передачи необходимо поддерживать надежность мобильных транспортных сетей (ТС) оператора связи, что может достигаться за счет использования алгоритмов обнаружения дождя, чему и посвящена представленная исследовательская работа.

Постановка проблемы. При обнаружении дождя можно использовать известный инструментарий теории мультипродуктовых потоков для вычисления новой конфигурации сети, оптимизированной с точки зрения эффективности использования ресурсов согласно новым условиям канала. Обновления сети на основе вновь вычисленных маршрутов приводит к повышению пропускной способности, если событие, вызывающее помехи, длится достаточно долго. В противном случае, запуск перемаршрутизации для кратковременных событий, таких как многолучевое замирание, может фактически увеличить помехи и вызвать колебание между оптимальными решениями. Поэтому необходимо отличать кратковременные явления, такие как многолучевое замирание, от длительных замираний, таких как дождь. У существующих алгоритмов обнаружения дождя либо длительное время обнаружения, либо дополнительные затраты на обнаружение дождя. Вышеперечисленное говорит о необходимости модернизации последних.

Из-за колебания затуханий, вызванных дождем, решение, приемлемое для одного временного интервала, не приемлемо для следующего. Следовательно, для обеспечения лучшей производительности сети в каждый период необходимо адаптация сети в каждый временной интервал во время дождя. Однако, незапланированные промежуточные состояния во время перехода могут увеличить потерю данных. Частая адаптация, без учета стоимости изменения маршрута, может привести к потерям данных. Так, качественной мерой для такого процесса является полученный выигрыш.

Следовательно, необходимо найти компромисс между выигрышем и стоимостью процесса изменения маршрута.

Основная часть. Использование беспроводных технологий, в частности микроволнового диапазона, для передачи трафика в базовую сеть, повышает гибкость мобильной транспортной сети. Кроме того, такая организация ТС позволяет легко добавлять или удалять новые базовые станции. Однако, из-за колебаний беспроводных каналов, не может быть гарантирована высокая пропускная способность и показатели структурной надежности сети, что приводит к ухудшению качества связи и снижает производительность сети [2]. Одним из типичных, частых и достаточно длительных явлений, снижающим пропускную способность сети, является наличие осадков, в частности дождя. Таким образом, возможен полный отказ каналов связи, что, в свою очередь приведет к нарушению работоспособности сети в целом, рис 1.

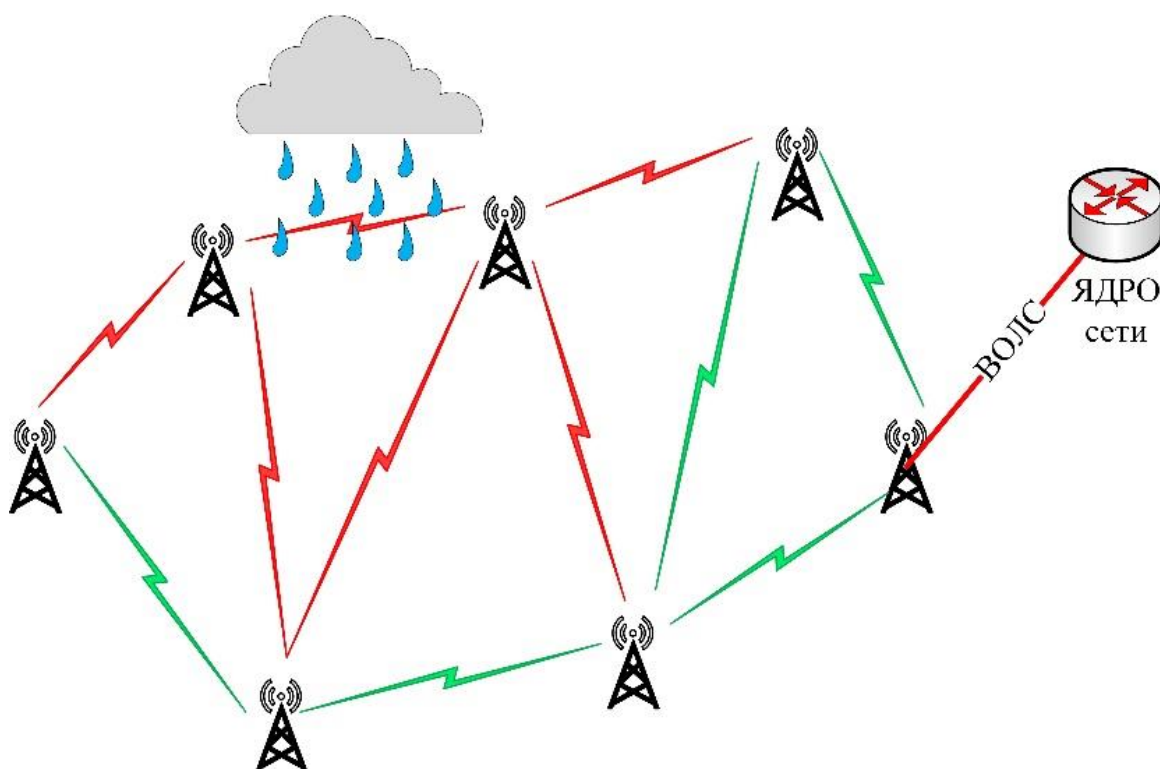


Рис. 1. Архитектура сети с фактором, понижающим ее работоспособность

Для формализации предложенного алгоритма рассмотрим ячеистую топологию, состоящую из множества базовых станций, обслуживающих абонентов, и ряда шлюзов, передающих агрегированные данные в ядро сети. Предположим, что на эту топологию влияет дождь, который длится в течение N временных выборок от t_0 до $t_0 + (N-1)\Delta t$, где Δt – период выборки. В зависимости от погодных условий, например, ясного или дождливого неба, на каналы между базовыми станциями может повлиять многолучевость или дождевое ослабление сигнала. Пусть A_m – принимаемая мощность линии связи в чистом небе, на которую влияет многолучевое замирание, следуя распределению Накагами (1)-(2):

$$f(A_m) = \frac{2m^m}{M \Gamma(m) p_i^{-m}} \exp\left(\frac{2mA_m}{M} - \frac{m}{A_m} \exp\frac{2A_m}{M}\right), \quad (1)$$

$$M = 20 \log(e), \quad (2)$$

где m – параметр формы;

\bar{A}_m – средняя полученная мощность для этого канала.

Средняя принимаемая мощность соответствует модели потерь в тракте, которая зависит от длины линии связи, передаваемой мощности и несущей частоты [3].

Т.к. рассматриваемая сетевая структура может частично пострадать от дождя, то некоторые каналы связи, помимо замирания в многолучевом режиме, могут также испытывать дождевое ослабление.

Пусть A_r – дождевое ослабление сигнала в линии связи, которое определяется согласно логнормальному распределению, (3):

$$A_r \sim \ln N(n_r, \sigma_r), \quad (3)$$

где n_r – математическое ожидание функции $\ln(A_r)$;

σ_r – СКО функции $\ln(A_r)$.

И математическое ожидание и СКО зависят от длины пути, на который влияет дождь, и интенсивности осадков. Эта информация может быть получена из долгосрочных измерений в течение нескольких лет или оценена на основе рекомендаций ITU-R P.530 [4].

Дождевое ослабление сигнала описывается как временной, так и пространственной изменчивостью. Следовательно, чтобы сгенерировать временной ряд значений дождевого ослабления вышеперечисленное должно быть учтено. Временная изменчивость генерируется путем прохождения белого гауссова шума со средним значением нулей и единичной дисперсией через фильтр нижних частот $H(z)$. Импульсная характеристика указанного фильтра задана моделью Масенга-Баккена (4)-(5):

$$H(z) = \frac{\sqrt{1-\mu^2}}{1-\mu z^{-1}}, \quad (4)$$

$$\mu = \exp(-\beta \Delta t). \quad (5)$$

где β – описывает временное изменение дождевого ослабления сигнала в одном канале связи;

Δt – отсчет.

Для получения логнормального затухания A_r с математическим ожиданием и СКО для каждой временной выборки, отфильтрованный сигнал следует подать в нелинейное преобразование без памяти, (6):

$$A_r = \exp(n_r + \sigma_r x), \quad (6)$$

где x – выход с фильтра низких частот $H(z)$.

Для описания пространственной корреляции дождевого ослабления между различными звеньями, независимый белый гауссов шум для каждого звена объединяется с пространственной корреляционной матрицей P . Каждый элемент этой матрицы

является величиной, характеризующей коэффициент корреляции между двумя узлами i и j , вычисляющийся по (7):

$$P_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sqrt{r_{ii}r_{jj}}}, \quad (7)$$

где r_{ij} – оценка пространственной корреляции между двумя узлами;

r_{ii} – оценка пространственной корреляции вдоль пути i .

Для вычисления r_{ij} сперва необходимо оценить корреляцию скорости выпадения осадков между двумя точками, которая моделируется как (8):

$$\varphi = \exp(-\gamma D), \quad (8)$$

где γ – расстояние декорреляции, определяемой как расстояние, на котором справедливо равенство $\varphi = e^{-1}$;

D – расстояние между определяемыми точками.

Зная оценку корреляцию скорости выпадения осадков между двумя точками для каждого пути, оценку пространственной корреляции между двумя путями можно оценить, исходя из (9):

$$r_{ij} = \int_0^{L_i} \int_0^{L_j} \varphi dl_i dl_j, \quad (9)$$

Аналогичным образом вычисляется коэффициент r_{ii} .

Иным подходом к оценке и отображению пространственной корреляции между различными путями является область корреляции, определенная как географическая область, в которой коэффициент усиления беспроводного канала имеет одинаковое статистическое распределение. Такие области корреляции можно охарактеризовать, используя коэффициент пространственной корреляции дождя, представленный уравнением (9). Каждая корреляционная область состоит из множества линий, пространственная корреляция которых r_{ij} превышает заданный порог. Соответственно, вся сеть может быть разделена на несколько непересекающихся множеств.

Чтобы определить наличие дождя в каждой коррелируемой области, введем бинарную гипотезу H_j для Ca_j , принимая значение 1 при наличии и 0 при отсутствии дождя в этой коррелированной области, (10):

$$H_j = \begin{cases} 0, & \text{если } Ca_j \in C_{\text{я}^-} \\ 1, & \text{если } Ca_j \in C_{\text{я}^+} \end{cases}, \quad (10)$$

где $C_{\text{я}^-}$ – набор корреляционных областей «чистое небо»;

$C_{\text{я}^+}$ – набор корреляционных областей «дождь».

Обозначим через переменную $p_{ij}(i)$, получаемую от линии l в Ca_j в i -ой момент времени, мощность. На основании гипотезы (10), полученной мощности от каждой линии, расположенной в Ca_j , перепишем (10) в (11):

$$P_{l_j}(i) = \begin{cases} A_{m,l_j}(i), & \text{если } Ca_i \in C_{\text{я}^-} \\ A_{m,l_j}(i) - A_{r,l_j}(i), & \text{если } Ca_j \in C_{\text{я}^+} \end{cases}, \quad (11)$$

где $A_{m,l_j}(i)$ – мощность, полученная приемником линии l в Ca_j в i -ой момент времени;
 $A_{r,l_j}(i)$ – уровень вносимого дождем ослабления в линию l в Ca_j в i -ой момент времени.

Процесс обнаружения дождя подвержен ошибкам, которые могут быть вызваны двумя основными факторами, а именно ложной тревогой и неправильным определением. Вероятность ложной тревоги, обозначаемая как P_{fa} , относится к вероятности объявления состояния дождя при нахождении в состоянии отсутствия дождя, тогда как вероятность неправильного обнаружения, обозначаемая P_{md} , относится к нахождению в состоянии дождя, но объявлению состояния отсутствия дождя.

Уведомление о возникновении дождя, вызванное обнаружением дождя БС, расположенной в корреляционной области «дождь», принимается устройством управления (допустим центральным контроллером) вместе с уведомлениями о ложной тревоге, которые по ошибке инициируются другими БС в областях с «чистое небо». Скорость запроса от «дождь» и «чистое небо» равна вероятности обнаружения и ложной тревоге соответственно. Следовательно, общая частота запросов на процесс изменения маршрута будет определяться из (12):

$$\lambda = \sum_{j \in C_{\text{я}^+}} (1 - P_{md,j}) + \sum_{j \in C_{\text{я}^-}} P_{fa,j}, \quad (12)$$

где $P_{md,j}$ – вероятность неправильного обнаружения в корреляционной области «дождь»;

$P_{fa,j}$ – вероятность ложной тревоги в корреляционной области «чистое небо».

Событие ложной тревоги возникает, как только K плохих в появляются в N последовательных отсчетах в корреляционных областях «чистое небо». Рассмотрим окно из N последовательных отсчетов. Каждый отсчет в этом окне является случайной величиной Бернулли, становящейся плохим отсчетом с вероятностью $\phi_{fa,i,j} = \Pr[p_{r,i,j} \leq T | H_j = 0]$. Предполагая, что скорость дождя постоянна в течение окна из N отсчетов $\phi_{fa,i,j}$, становится постоянной для всех N отсчетов. Следовательно, поскольку отсчеты независимы и распределены одинаково, вероятность нахождения по крайней мере K плохих отсчетов внутри этого окна может быть смоделирована путем суммирования биномиальных переменных с вероятностью успеха $\phi_{fa,i,j}$, (13):

$$\begin{aligned} \phi_{fa,i,j} = \Pr[p_{r,i,j} \leq T | H_j = 0] &= \int_0^T \left(\frac{m}{\bar{p}_{r,i,j}} \right) \frac{x^{m-1}}{\Gamma(m)} \exp\left(\frac{-mx}{\bar{p}_{r,i,j}} \right) dx = \\ &= 1 - \frac{\Gamma\left(m, \frac{mT}{\bar{p}_{r,i,j}}\right)}{\Gamma(m)}, \end{aligned} \quad (13)$$

где $\Gamma(\cdot, \cdot)$ – неполная гамма-функция;

$\bar{P}_{r,i,j}$ – средняя принимаемая мощность на i -го канале, расположенном в соответствующей корреляционной области.

Вероятность ложной тревоги i -й БС в корреляционной области «чистое небо», (14):

$$P_{fa,i,j} = \sum_{l=K}^N \binom{N}{l} \phi_{fa,i,j}^l (1 - \phi_{fa,i,j})^{N-l}, \quad (14)$$

При заданном окне из N отсчетов, конечная вероятность ложной тревоги для j -ой корреляционной области, (15):

$$P_{fa,j} = \prod_{i \in C_j} P_{fa,i,j}, \quad (15)$$

Используя аналогичный подход, получаем значение вероятности неправильного обнаружения, (16):

$$P_{md,j} = 1 - \prod_{i \in C_j} (1 - P_{md,i,j}), \quad (16)$$

Общие накладные расходы, связанные с вероятностью ложной тревоги, определяются как (17):

$$\lambda_e = \sum_{j \in C_{\text{я}^-}} P_{fa,j}, \quad (17)$$

Этот же коэффициент описывает частоту запросов на начало процесса изменения маршрута, вызванную ложной тревогой.

Функция изменения пропускной способности от общей вероятности ошибок при детектировании дождя (18):

$$Tr(t) = \frac{1}{T - N\Delta t} \int_{N\Delta t}^T \left(1 - \sum_{j \in C_{\text{я}^+}} P_{md,j} \right) R(t) - R_{AMC}(t) dt, \quad (18)$$

где R – максимально достижимая пропускная способность, когда используются как адаптация канала, так и процесс изменения маршрута;

R_{AMC} – пропускная способность, когда реализована только адаптация канала (например, адаптивная модуляция канала, АМК).

Подход АМК рассматривается в случае адаптации той линии, в зоне работы которой идет дождь. Следовательно, увеличение пропускной способности предложенного в работе подхода определяется как улучшение пропускной способности по сравнению с подходом АМК.

Для оценки предложенных алгоритмов, а также насколько будет влиять рассмотренные ошибки на работу алгоритма используем модель, созданную в математическом симуляторе. Мощность полученного сигнала фиксируется каждые $\Delta t = 10$ мс, что больше, чем время когерентности с затуханием многолучевого распространения. Предполагается, что несущая частота 30 ГГц соответствует обычно используемым значениям в сетях обратной передачи микроволн.

Общая вероятность ошибки определяется как $P_e = z_1 P_{fa} + z_2 P_{md}$, где $z_1 \geq 0$, $z_2 \leq 1$ – константы, описывающие вероятность «чистое небо» или «дождь» соответственно. Для определенности примем среднее значение $z_1 = z_2 = 0,5$.

На рисунке 2 показано изменение общей вероятности ошибки с параметром M , зависящим от времени, для различной скорости дождя r и расчетного параметра ρ .

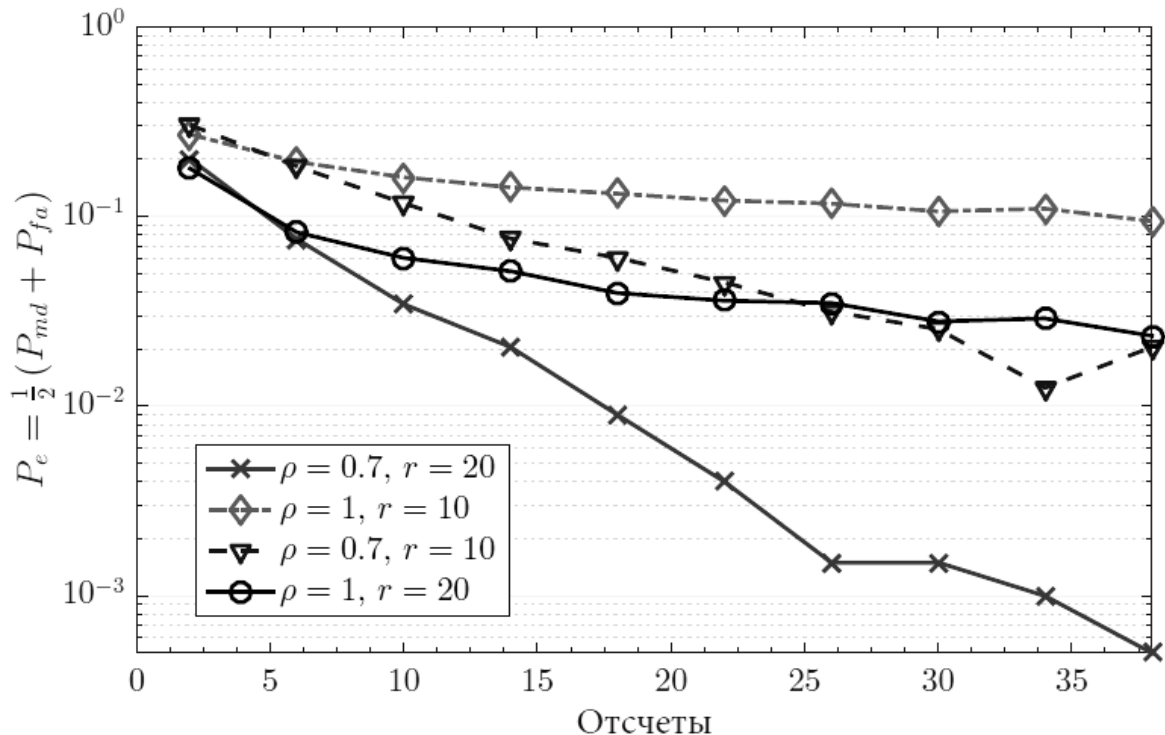


Рис. 2. Общая вероятность ошибки в зависимости от количества отсчетов

Использование большего количества отсчетов, что подразумевает более длительное время обнаружения, повышает точность обнаружения. Кроме того, результаты показывают, что при $\rho = 0,7$ ошибка обнаружения значительно уменьшается, в то время как при $\rho = 1$ может привести к большой ошибке. Это связано с тем, что при $\rho = 1$ объявляется «дождь» и все отсчеты учитываются, как плохие.

Однако, из-за изменения многолучевого затухания в принятом сигнале вероятность того, что все выборки станут ниже определенного порога очень мала. Например, при одинаковом количестве отсчетов $M = 15$ вероятность ошибки снижается примерно на 40% при скорости дождя $r = 20$ мм/час и выборе правильного значения ρ .

На рисунке 3 представлена пропускная способность трех схем: адаптивной модуляции и кодирования, активной перемаршрутизации и предложенного алгоритма обнаружения дождя.

На основе представленных результатов, можно сказать, что для 41 базовой станции каждая может поддерживать в среднем на $800 / 41 = 20$ Мбит/с больше скорости передачи данных с использованием адаптации перемаршрутизации, по сравнению с подходом АМК, что является значительным улучшением, поскольку более низкая скорость передачи данных может нарушить соглашение об уровне обслуживания.

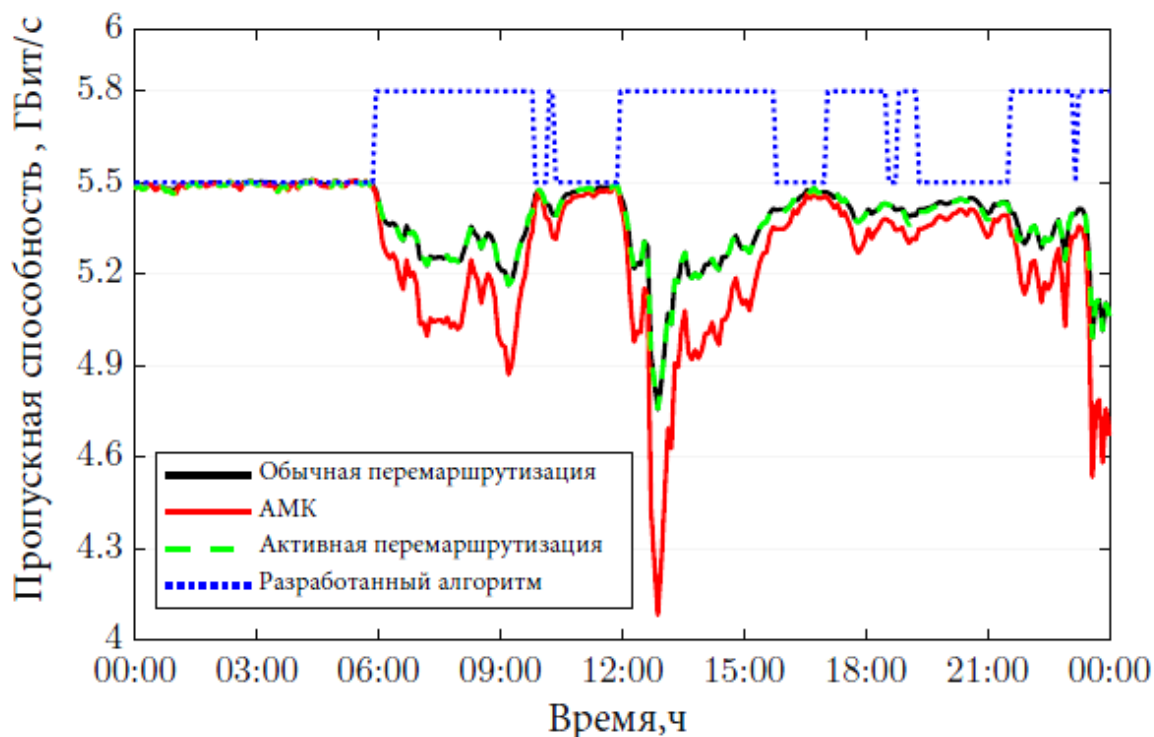


Рис. 3. Сравнение пропускной способности для различных схем адаптации

Выводы. На основе представленных результатов, можно сказать, что очень частый процесс изменения маршрута трафика, даже с учетом многолучевого затухания, не обеспечивает увеличения пропускной способности. Однако, повторной оптимизации маршрутов при обнаружении дождя достаточно для достижения хорошей пропускной способности сети, которая примерно на 14% превышает пропускную способность, полученную при использовании подхода АМК в условиях ослабления дождя. Кроме того, в дальнейшем планируется исследовать поведение представленной модели во временной области, а также использовать полученные результаты в основе методов определения параметров качества обслуживания LTE-сети.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Артюшина, Д. В. Анализ проблем организации backhaul-сетей / Д. В. Артюшина, К. А. Павловская // Автоматизация технологических объектов и процессов. Поиск молодых: сборник научных трудов XXI международной научно-технической конференции аспирантов и студентов в г. Донецке 24-26 мая 2021 г. – Донецк : ДОННТУ, 2021. – С. 4-7.
2. Jabbar, A. Performance comparison of weather disruption-tolerant cross-layer routing algorithms/ A. Jabbar at all // International Conference on Computer Communications (INFOCOM), 2009. – P. 1143–1151.
3. Goldsmith, A. Wireless communications / A. Goldsmith. – Cambridge University Press, 2005. – 673 p.
4. ITU-R P.530 Propagation data and prediction methods required for the design of terrestrial line-of-sight systems. – Geneva, Switzerland, 2007.

Поступила в редакцию 01.11.2022 г., рекомендована к печати 17.11.2022 г.

DEVELOPMENT OF A RAIN DETECTION ALGORITHM TO IMPROVE THE PERFORMANCE OF THE MOBILE TRANSPORT NETWORK

Pavlovskaja K.A., Lozinskaia V.N.

In this work, an analysis of the problems of ensuring the reliability of the distribution networks of a mobile operator is carried out, a rain detection algorithm is proposed to improve the performance of the network operator.

Keywords: network, signal, routing, reliability, power, traffic.

Павловская Ксения Александровна

кандидат технических наук, доцент кафедры автоматике и телекоммуникаций ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет»,
Российская Федерация, ДНР, г. Донецк.
Email: ks_pavliovskaya@rambler.ru

Pavlovskaja Kseniia Aleksandrovna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automation and Telecommunications of Donetsk National Technical University,
Russian Federation, DPR, Donetsk.

Лозинская Виктория Николаевна

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автоматике и телекоммуникаций ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет»,
Российская Федерация, ДНР, г. Донецк.
Email: lvn_04@mail.ru

Lozinskaia Viktoriia Nikolaevna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automation and Telecommunications of Donetsk National Technical University,
Russian Federation, DPR, Donetsk.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

УДК 65.011.56:681.5.08

ЭЛЕМЕНТЫ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОВЕРХНОСТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН ПОСРЕДСТВОМ МЕТОДОВ ОПОРНЫХ ПУЧКОВ

© 2022 Третьяков И.А., Яновский А.В., Данилов В.В.

В данной работе приведены описания и блок-схемы элементов специализированных автоматизированных систем научных исследований параметров поверхностных акустических волн на основе методов опорных пучков, в частности, метода биений, гомодинного метода, интерферометрических методов. Рассмотренные методы и блок-схемы устройств на их основе пригодны для измерения большинства параметров ПАВ.

Ключевые слова: автоматизированная система, поверхностные акустические волны, дифракция, оптическое зондирование, интерферометрия.

Введение. Сравнительный анализ различных оптических методов исследования параметров поверхностных акустических волн (ПАВ) [1-5] позволяет сделать вывод, что выбор необходимого метода зависит от вида необходимой информации и условий распространения ПАВ. Для ПАВ, распространяющихся в одном направлении, измерения могут быть выполнены всеми проанализированными методами, при этом можно исследовать затухание, дифракцию и нелинейные явления. Оптическое гетеродинамирование и интерферометрия Фабри - Перо позволяют регистрировать ПАВ, распространяющихся в противоположных направлениях [6]. Применение синхронного детектирования в устройствах с опорным пучком дает возможность получать фазовую информацию, причем выходной сигнал линеен в зависимости от амплитуды ПАВ, что значительно повышает чувствительность регистрации устройств такого рода [7]. Однако, наиболее полную информацию о параметрах ПАВ может обеспечить только сочетание интегральных методов регистрации с оптическими методами зондирования (дифференциальными), что в настоящее время невозможно без развития автоматизированных систем научных исследований параметров ПАВ.

Предложенные далее оптические методы с использованием опорных пучков позволяют получить фазовую информацию о ПАВ путем детектирования интерференционной картины, созданной в результате смещения на поверхности фотоприемника или выходного расщепителя луча сигнальной и опорной световых волн. При частоте Брэгга $\Omega_B \neq 0$ можно отдельно определить амплитуды δ_+ и δ_- (распространяющейся вдоль оси x и в обратном направлении соответственно) [6]. Постоянная времени электронных цепей определяется соотношением:

$$\tau_{\text{э}} \ll 1/(\Omega + \Omega_B),$$

где Ω - частота ПАВ.

При прочих равных условиях (уровень шума и полоса пропускания фотоприемника) чувствительность оптического гетеродинамирования в $1/k_i\delta_0$ раз выше чувствительности метода прямого зондирования (k_i - волновое число падающей световой волны, δ_0 - амплитуда ПАВ) [8]. Поэтому оптические методы с использованием опорных пучков наиболее широко применяются для измерения параметров ПАВ. Общим недостатком этих методов является необходимость тщательной юстировки опорного и сигнального световых лучей для поддержания постоянной фазы на поверхности фотодетектор.

Метод биений. В данном методе коэффициент деления расщепителя $s \neq 0$, частота Брэгга $\Omega_B = 0$. Фотодетектор располагают в дальнем поле. В качестве опорного используется нулевой порядок дифракции света на ПАВ [9]. После оптического гетеродинамирования дифрагированного луча частотой $\omega_0 \pm \Omega$ с опорным лучом несмещенной частоты ω_0 амплитуда результирующего луча оказывается промодулированной с частотой ПАВ, а глубина модуляции пропорциональна амплитуде дифрагированного луча. Это обуславливает большую чувствительность, чем у квадратичных детекторов, которые реагируют на интенсивность света, при условии, что дробовые шумы гетеродина (недифрагированный свет) превышают шумы фотодетектора.

Гомодинный метод. В данном методе коэффициент деления расщепителя $s \neq 0$, частота Брэгга $\Omega_B \neq 0$. В гомодинных устройствах дополнительный частотный сдвиг, обычно осуществляемый ячейкой Брэгга, используется для расширения возможностей метода биений [9].

В этом случае уменьшаются трудности подстройки и сигнал образуется на несущей частоте, что очень важно при его последующей обработке. Как правило, оптическая часть таких устройств имеет вид интерферометра Майкельсона, в котором расщепительное зеркало заменено ячейкой Брэгга (рис. 1), чем обеспечивается несущая частота сигнала $2f_B$. ФЭУ – фотоэлектронный умножитель. ЭПУ - электронное приемное устройство, блок-схема которого представлена на рис. 2, обеспечивает усиление и необходимые частотные преобразования.

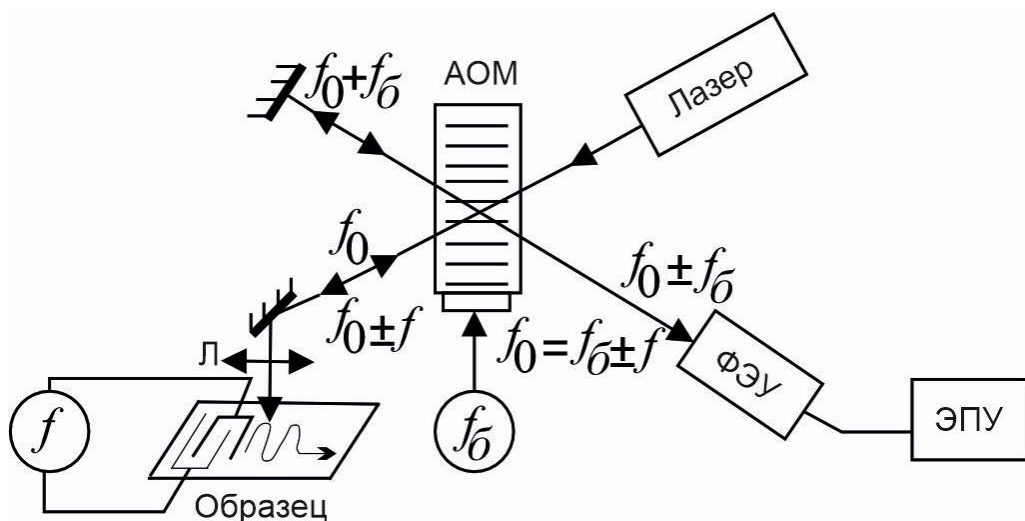


Рис. 1. Блок-схема устройства оптического гомодинного зондирования

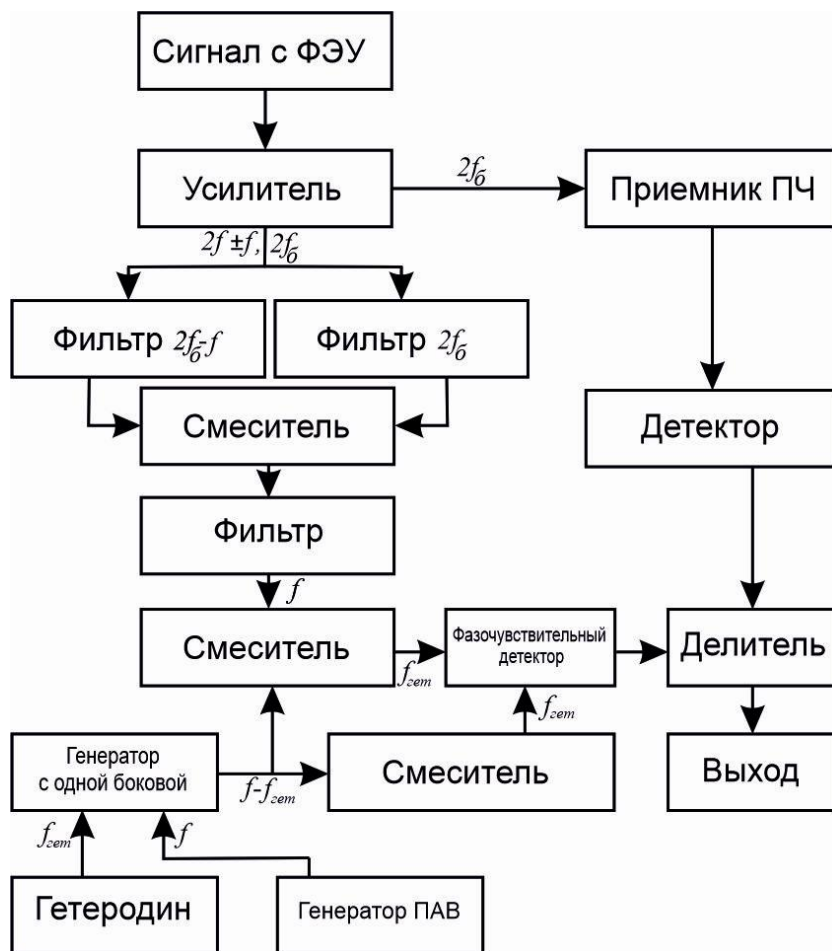


Рис. 2. Блок-схема ЭПУ

В ЭПУ осуществляется сдвиг сигнального и опорного компонентов вниз по частоте с помощью вспомогательного гетеродина и генератора одной боковой. Поскольку характер зависимости сигнала от амплитуды оптического поля на частоте несущей такой же, как и на боковой, то их соотношение остается постоянным и не зависящим от флуктуации длины оптического пути. Кроме устройства когерентного приема, в ЭПУ используется контрольный канал, состоящий из приемника, настроенного на несущую, детектора промежуточной частоты (ПЧ) и усилителя постоянного тока. Выходное напряжение сигнального канала сравнивается с напряжением контрольного канала и подается на регистратор. При этом обеспечивается независимость амплитуды измеряемого сигнала от флуктуаций оптической мощности на входе фотоприёмника. Подобное устройство позволяет не только записывать распределение амплитуды и фазы ПАВ в любом сечении, но и измерять фазовую скорость путем подсчета числа периодов изменения фазы n вдоль направления распространения ПАВ при изменении длины сканирования L . Если $\Phi_A(\omega)$ - фаза в точке А на образце, то в точке В расположенной на расстоянии L от точки А определяется выражением:

$$\Phi_B(\omega) = \Phi_A(\omega) + KL = \Phi_A(\omega) + (\Omega / \nu_\Phi)L,$$

где $L = n\lambda$, $v_\phi = \Omega L / (2\pi n) = f\lambda$. Как показали эксперименты, погрешность измерения фазовой скорости составила не более 0,05%.

Измеряя скорости ПАВ на свободной и металлизированной поверхностях, можно определить значение квадрата коэффициента электромеханической связи ($\cong 2\Delta v/v$, где $\Delta v/v$ - относительное изменение скорости при переходе от свободной поверхности к металлизированной). Частотный диапазон измерительного устройства определяется возможностями фокусировки зондирующего луча, и для $\lambda = 0,63$ мкм предельная частота не превышает 400 МГц. Чувствительность не хуже 10^{-4} нм.

Аналогичное устройство можно создать с применением волоконной оптики. Схема волоконного зонда представлена на рис. 3. Минимальная амплитуда ПАВ, детектируемая зондом на $LiNbO_3$ составляет $3 \cdot 10^{-3}$ нм.

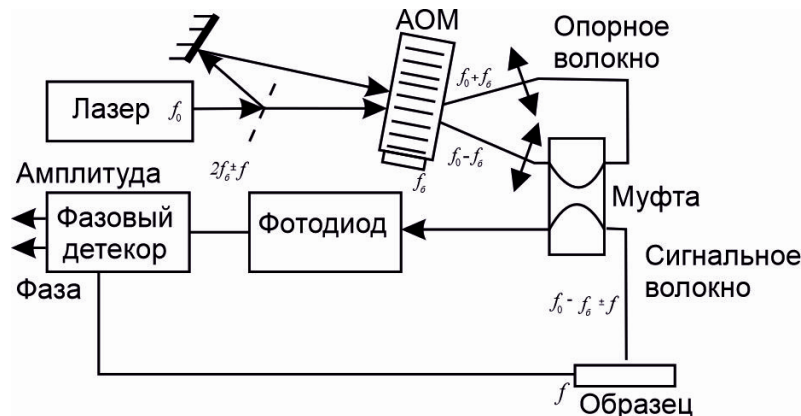


Рис. 3. Блок-схема измерительного устройства на основе волоконного зонда

Интерферометрические методы. Здесь коэффициент деления расщепителя $s \neq 0$, частота Брэгга $\Omega_B = 0$. К методам измерения параметров ПАВ с опорными пучками относят также и методы с использованием интерферометров Майкельсона и Тваймана - Грина, которым свойственна высокая чувствительность ($\delta_{\min} = 10^{-5} - 10^{-4}$ нм), но требующие стабилизации оптической части устройства. Было апробировано устройство по блок-схеме показанной на рис. 4 и рис. 5.

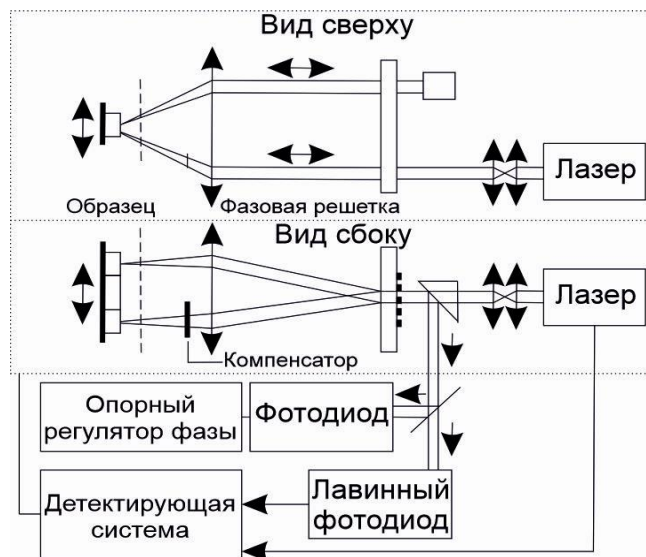


Рис. 4. Блок-схема измерительного устройства на основе двухлучевого интерферометра

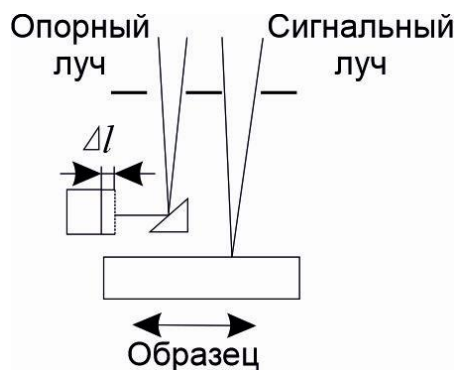


Рис. 5. Ход опорного и сигнального лучей

Расщепителем луча служит фазовая решетка. Луч $+1$ порядка дифракции на этой решетке используется в качестве оптического зонда. Он модулируется по фазе при отражении от поверхности образца. Луч -1 -го порядка дифракции отражается от опорного зеркала, приклеенного к пьезоэлектрическому компенсатору пути, который, при подаче на него пилообразного напряжения позволяет перемещать опорное зеркало на величину Δl . Опорный и сигнальный лучи после отражения смешиваются на той же фазовой решетке, а их интерференционная картина детектируется лавинным фотодиодом. Интенсивность этой интерференционной картины равна:

$$I = 2E_i^2 R^2 [1 + \mu \cos 2k_i (\delta_0 - \Delta l)],$$

где Δl - перемещение опорного зеркала, величина которого определяется выходным напряжением опорного регулятора фазы; $\mu = \exp(-\Delta x_1^2 / (2x_1^2))$.

При $\Delta l = \lambda / 8$, относительная интенсивность интерференционной картины равна:

$$I_{\text{отн}} = \frac{2I - (I_{\text{max}} - I_{\text{min}})}{2(I_{\text{max}} - I_{\text{min}})} = \Delta I_{\text{отн}} \cos(\Omega t - Kx_1 - \varphi),$$

где $\Delta I_{\text{отн}} = k_i \delta_0$ определяется экспериментально; $\varphi = 2k_i (\Delta l - \delta)$ - разность фаз опорного и сигнального лучей.

Дальнейшая обработка сигнала производится с помощью электронного детектирующего устройства, блок-схема которой представлена на рис. 6. Так же, как и гомодинная система, двухлучевой интерферометр позволяет измерять фазовую скорость ПАВ с погрешностью $\pm 0,2\%$. Минимальная амплитуда ПАВ $8 \cdot 10^{-4}$ нм [6].

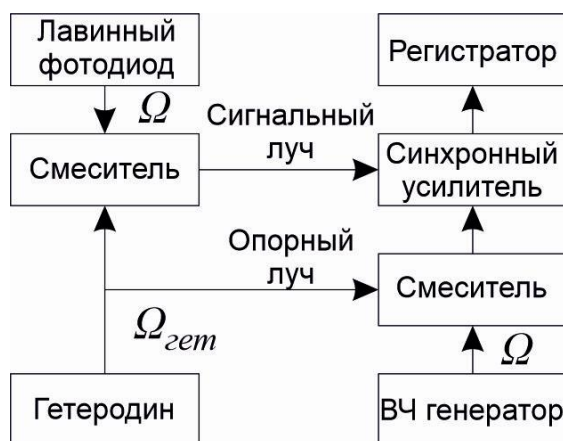


Рис. 6. Блок-схема электронного детектирующего устройства двухлучевого интерферометра

Интегральные методы. Наряду с дифференциальными методами исследования, описанными выше, в технике измерений параметров ПАВ применяются и интегральные методы визуализации полей акустических волн и в первую очередь – теневой. Блок-схема устройства приведена на рис. 7.

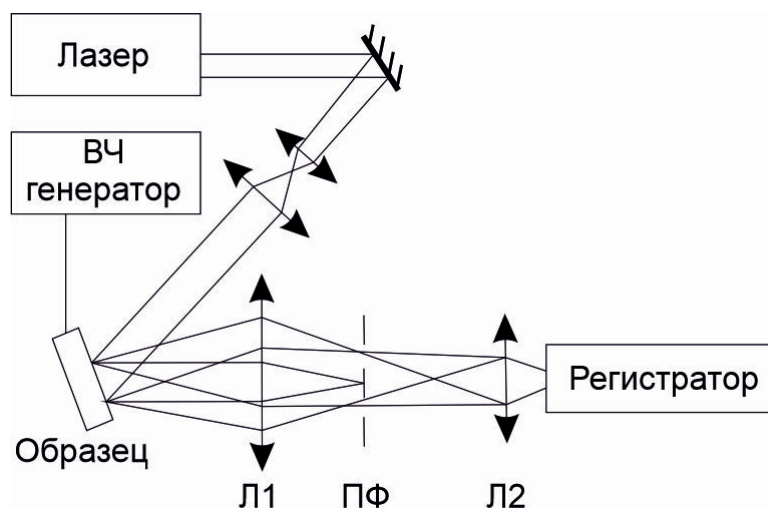


Рис. 7. Блок-схема устройства визуализации полей ПАВ теневым методом

Пространственный фильтр ПФ выделяет ± 1 -й порядки дифракции света на ПАВ, линза L_2 проецирует изображение на регистратор. Дальнейшее фотометрирование позволяет измерять квадрат амплитуды ПАВ. Однако из-за нелинейности характеристической кривой фотоматериала точность измерений крайне невысока.

Для получения стационарного изображения волновых фронтов можно использовать метод акустической стробоскопии [10]. Блок-схема такого устройства приведена на рис. 8.

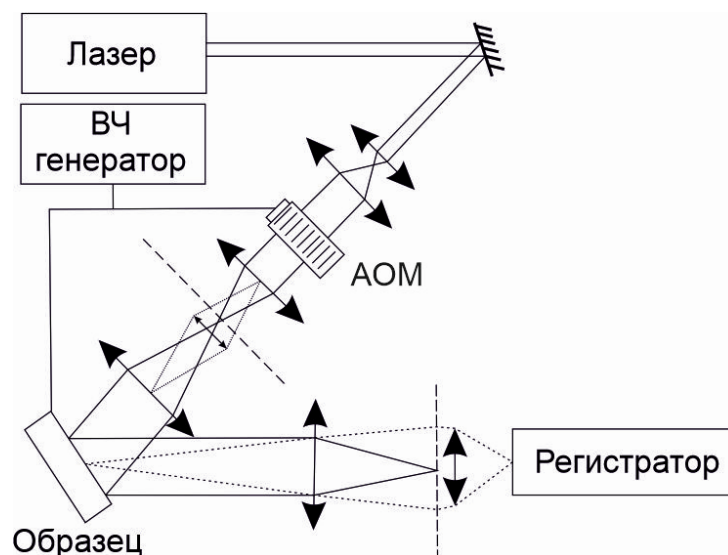


Рис. 8. Блок-схема устройства записи волновых фронтов методом акустической стробоскопии

Приведенная блок-схема отличается от известной наличием акустооптического модулятора (АОМ), синхронизируемого ПАВ. Падающий свет дифрагирует на объемной акустической волне в АОМ и на ПАВ в исследуемом образце. Интенсивность света в плоскости регистратора равна:

$$I \sim (1/4)a^2 \delta_0^2 \cos^2[Kx_1(1 - g^{-1})],$$

где a - амплитуда объемной акустической волны в АОМ; g - увеличение оптической системы.

Множитель $\cos^2 Kx$ описывает распределение фазы бегущей ПАВ. Если a постоянная, то яркость изображения пропорциональна квадрату амплитуды ПАВ. Этот метод записи волновых фронтов вполне может конкурировать с визуализацией ПАВ на растровом электронном микроскопе, так как требует гораздо более простого оборудования.

Расширить возможности теневого метода и повысить его чувствительность можно применением голографии со сдвигом частоты опорного луча, при котором устраняется влияние несмещенного фона [10]. В качестве сигнального луча используется луч ± 1 -го порядка дифракции на ПАВ. Поскольку сигнальный луч имеет сдвиг по частоте относительно частоты падающего света, то и опорный должен иметь такую же смещенную частоту. Если частоты сигнального и опорного лучей будут неодинаковыми, то их интерференционная картина будет перемещаться в плоскости голограммы со скоростью, зависящей от разности частот:

$$v = |\Omega - \Omega_{оп}| / (2\pi F),$$

где F - пространственная частота интерференционной картины.

Если время экспозиции голограммы значительно превышает $2\pi / |\Omega - \Omega_{оп}|$ то движущиеся полосы усредняются и не вносят вклада в формирование голограммы. На голограмме записывается только тот компонент диафрагмировавшего на ПАВ света частота которого равна частоте опорной волны. После проявления голограмма освещается опорным пучком. Яркость восстановленного изображения пропорциональна квадрату амплитуды ПАВ (если запись голограммы проведена на линейном участке характеристической кривой).

С помощью устройства, блок-схема которой показана на рис. 9, можно записывать голограммы бегущих, отраженных и стоячих ПАВ, используя сочетание дифракционных порядков (табл. 1). Аналогичным образом можно наблюдать обусловленную нелинейностью вторую гармонику ПАВ, выбирая для этого опорный луч второго порядка. Фазовая скорость ПАВ определяется по числу полос в изображении стоячей волны. Смещение частоты опорного луча осуществляется АОМ, который возбуждается тем же генератором, что и ПАВ. Диапазон рабочих частот установки определяется частотной характеристикой АОМ. Минимальное значение амплитуды ПАВ $3 \cdot 10^{-3}$ нм [9].

Таблица 1. Дифракционные порядки

Тип ПАВ	Порядок дифракции	
	Сигнального	Опорного
Бегущая	+1	-1
	-1	+1
Отраженная	+1	-1
	-1	+1
Стоячая	+1 и -1	+1
		-1

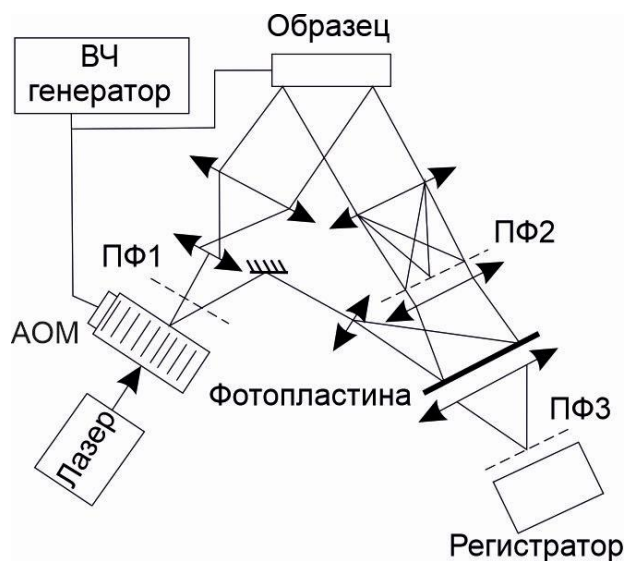


Рис. 9. Блок схема устройства для записи и восстановления голограмм ПАВ

Выводы. Таким образом, показаны элементы автоматизированных систем измерения параметров поверхностных акустических волн посредством методов опорных пучков. Рассмотренные методы и блок-схемы устройств на их основе пригодны для измерения большинства параметров ПАВ и наряду с электрическими являются незаменимым инструментом в процессе разработки и оптимизации автоматизированных систем научных исследований параметров ПАВ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lean, E. G. H. Optical Probing of Acoustic Surface Waves / E. G. H. Lean, C. G. Powell, R. V. Pole // The Journal of the Acoustical Society of America. –1970. – Vol. 47. – № 73. – DOI: 10.1121/1.1974694.
2. Власов, Ю. Н. Обзор оптических методов и средств измерений параметров вибраций / Ю. Н. Власов. – Б. м., 1982. – 35 с.
3. Устройства обработки сигналов на поверхностных акустических волнах / Д. Морган; Перевод с англ. – Москва : Радио и связь, 1990. – 414 с.
4. Комоцкий, В. А. Метод оптического лазерного зондирования поверхностных акустических волн с использованием опорных дифракционных решеток : 01.04.03 : диссертация ... д-ра техн. наук. – Москва, 1999. – 412 с.
5. Данилов, В. В. Измерение параметров устройств на поверхностных акустических волнах / В. В. Данилов, В. И. Тимченко // Донецкие чтения 2020: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: Материалы V Международной научной конференции (Донецк, 17-18 ноября 2020 г.). – Том 1: Физико-математические и технические науки. Часть 2 / под общей редакцией проф. С.В. Беспаловой. – Донецк: Изд-во ДонНУ, 2020. – С. 158-161.
6. Яновский, А. В. Структуры автоматизированных систем научных исследований параметров поверхностных акустических волн / А. В. Яновский, И. А. Третьяков, В. В. Данилов // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. – 2021. – № 4. – С. 46-53.
7. Третьяков, И. А. Элементы автоматизированных систем измерения параметров поверхностных акустических волн посредством методов оптического зондирования / И. А. Третьяков, В. В. Данилов // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. – 2022. – № 3. – С. 46-51.
8. Тимченко, В. И. Технические и алгоритмические решения для разработки автоматизированной системы измерения параметров упругих колебаний / В. И. Тимченко, В. В. Данилов, И. А. Третьяков // Дефектоскопист – 2021: сборник трудов по неразрушающему контролю / под общ. ред. проф. А. Л. Сотникова. – Донецк: Технопарк «Университетские технологии», 2021. – С. 61-63.

9. Данилов, В. В. Автоматизированные системы научных исследований параметров устройств на поверхностных акустических волнах / В. В. Данилов, В. И. Тимченко // Донецкие чтения 2021: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: Материалы VI Международной научной конференции (Донецк, 26-27 октября 2021 г.). – Том 2: Физические и технические науки / под общей редакцией проф. С.В. Беспаловой. – Донецк: Изд-во ДонНУ, 2021. – С. 181-183.
10. Третьяков, И. А. Автоматизация процедуры определения параметров упругой среды при ударном воздействии / И. А. Третьяков, В. И. Тимченко, Я. И. Рушечников // Дефектоскопист – 2021: сборник трудов по неразрушающему контролю / под общ. ред. проф. А. Л. Сотникова. – Донецк: Технопарк «Университетские технологии», 2021. – С. 64-66.

Поступила в редакцию 25.10.2022 г., рекомендована к печати 07.11.2022 г.

ELEMENTS OF AUTOMATED SYSTEMS FOR MEASURING PARAMETERS OF SURFACE ACOUSTIC WAVES BY MEANS OF REFERENCE BEAM METHODS

Tretiakov I.A., Ianovskii A.V., Danilov V.V.

This paper presents descriptions and block diagrams of elements of specialized automated systems for scientific research of parameters of surface acoustic waves based on the methods of reference beams, in particular, the beat method, homodyne method, and interferometric methods. The considered methods and block diagrams of devices based on them are suitable for measuring most parameters of surfactants.

Keywords: automated system, surface acoustic waves, diffraction, optical sensing, interferometry.

Третьяков Игорь Александрович

кандидат технических наук, заместитель декана по научной работе, доцент кафедры радиоп физики и инфокоммуникационных технологий ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», Российская Федерация, ДНР, г. Донецк.
E-mail: i.tretiakov@mail.ru

Tretiakov Igor Aleksandrovich

Candidate of Technical Sciences, Deputy Dean for Research, Associate Professor at Department of Radiophysics and Infocommunication Technologies of Donetsk National University, Russian Federation, DPR, Donetsk.

Яновский Александр Вадимович

старший преподаватель кафедры радиоп физики и инфокоммуникационных технологий ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», Российская Федерация, ДНР, г. Донецк.
E-mail: alexyana1994@mail.ru

Ianovskii Aleksandr Vadimovich

Senior lecturer at Department of Radiophysics and Infocommunication Technologies of Donetsk National University, Russian Federation, DPR, Donetsk.

Данилов Владимир Васильевич

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой радиоп физики и инфокоммуникационных технологий ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», Российская Федерация, ДНР, г. Донецк.
E-mail: ut5iv@mail.ru

Danilov Vladimir Vasilevich

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Radiophysics and Infocommunication Technologies of Donetsk National University, Russian Federation, DPR, Donetsk.

УДК 539.2:534.242

РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ МАКЕТА БИОНИЧЕСКОГО ПРОТЕЗА КИСТИ РУКИ

© 2022 Горбатенкова А.И., Бондаренко В.И.

В статье проведено исследование, результатом которого являлась разработка и конструирование макета биотического протеза для помощи людям с ограниченными возможностями. Были изучены и проанализированы существующие протезы кистей рук. Предложена разработка собственного человеко-машинного интерфейса, механических узлов и системы управления для выполнения основных двигательных функций протезом. Полученные результаты могут быть использованы при создании опытного образца.

Ключевые слова: система управления, бионический протез, протез руки, обратная связь, актуатор.

Введение. Согласно статистике, опубликованной периодическим электронным изданием «Научная Россия», 12 % людей на нашей планете имеют какие-либо нарушения структур организма. Причины могут быть различны: аплазия (дефект, при котором орган или часть тела не до конца развиты) и прочие аномалии, производственная травма с последующей ампутацией. В любом случае, то, как человек утратил конечность, не имеет значения. Потеря конечности отражается на уровне физической и социальной активности человека, снижает качество жизни и становится препятствием при реализации профессиональной деятельности. Около 390 тысяч людей в год теряют кисть руки.

Реабилитация и повышение качества жизни инвалидов, потерявших кисти рук, определяется наличием соответствующих протезов. В России ежегодно требуются более 60 тысяч протезов рук, а производится в семь раз меньше. Дорогая зарубежная продукция этой проблемы не решает. Большая часть протезов нового поколения существует только как прототипы в лабораториях и научных центрах. Фактическая себестоимость изготовления подобных устройств невелика, высокая цена определяется интеллектуальной собственностью их разработчиков. Придать протезу максимум количества двигательных функций, эстетический образ и простоту использования в протезировании – одна из самых сложных задач медицинских технологий. Следует также учитывать индивидуальные особенности (уровень ампутации, вес, рост, возраст, нагрузки). Человеку необходимо приспособиться к протезу с течением времени.

Бионический протез как аппаратно-программная система. Достижение конца 20 и начала 21 века в развитии интегральной схемотехники, 3-D печати, малоразмерных и мощных приводов, а также емких и компактных аккумуляторов, обеспечили скачек использования бионических протезов на замену механическим аналогам (протезы, приводимые в движения мышцами человека). С каждым годом область разработки бионических протезов развивается, уже сейчас имеются футуристические устройства, которые помимо установки степеней свободы на основании приема и обработки ЭМГ сигнала, позволяют выполнять мониторинг процесса реабилитации и повседневного использования, проводить NFC оплату, взаимодействовать с протезом с помощью мобильного телефона и голоса. Помимо этого, исследуются и частично начинают применяться новые виды контроля и вживления протезов (остеоинтеграция, инвазивное управление, нейроинтерфейсы).

Подобные достижения становятся доступны благодаря возрастающей технологической составляющей протеза. Если раньше протез содержал только систему распознавания миоэлектрических образов, то теперь, уровень современного развития интегральных схем и вычислительных мощностей, позволяет добавлять все больший функционал.

История развития протезов. История развития протезов насчитывает много десятков лет. Еще в древности утраченные конечности заменяли рабочим протезом, предназначенным для восстановления элементарных функций руки, удержания инструментов, самообслуживания [1].

Со временем косметические протезы, служащие для восполнения эстетического дефекта внешности, вызванного отсутствием конечности или ее сегмента, сменились тяговыми протезами (функции протеза управляются собственными физическими силами, движение осуществляется при помощи тягового биндажа, который накладывается обычно от протезной руки по спине петлей вокруг здорового плеча), а позже начались разработки бионических протезов (с их помощью человек может регулировать силу захвата и четко координировать свои действия, появляется естественность движений) [2-4].

В настоящее время протезы рук делятся на 4 основных вида:

- косметические – пассивные протезы, которые выполняют только эстетическую функцию;
- тяговые – активные манипуляторы, где функции протеза управляются собственными физическими силами, например, культией и/или плечевым поясом, движение осуществляется при помощи тягового биндажа, который накладывается обычно от протезной руки по спине петлей вокруг здорового плеча;
- бионические – с их помощью человек может регулировать силу захвата и четко координировать свои действия, то есть появляется естественность движений.

Бионический протез, он же биоэлектрический и миоэлектрический, работает за счет считывания специальными мио-датчиками электрического потенциала, вырабатываемого во время напряжения сохранившихся мышечных тканей руки. Мио-датчики, которые обеспечивают корректное считывание этого электрического потенциала, состоят из чувствительных электродов. Они передают считываемый сигнал в микропроцессор, мозг всего протеза, который совершает обработку полученной информации при помощи компьютерных алгоритмов. Как итог – микропроцессор, опираясь на полученный сигнал, за доли секунды формирует команды и направляет их в двигатели (моторы), которые и приводят в движение активные части протеза [3, 4].

На данный момент бионические протезы разделяют на два типа:

- Односхватный - протез с одним видом схвата оснащен одним единственным мотором, который в своей работе обеспечивает односложное смыкание-размыкание пальцев кисти руки, при поступлении сигнала от процессора;
- Многосхватный - биоэлектрический протез с несколькими видами схвата имеет по двигателю для каждого пальца руки. Это позволяет ему выполнять множество различных схватов (жестов) и видов смыкания-размыкания кисти. Количество жестов и их разновидность программируются в процессор протеза и зависят лишь от индивидуальных предпочтений конкретного пользователя.

Для работы бионического протеза требуется каким-либо путем получать показания о мышечной активности человека и обрабатывать их. Существуют различные варианты связи между человеком и протезом:

- Внедрение различных имплантов в зоны сенсорной и моторной коры головного мозга — очень дорогостоящий метод, требующий персональной и длительной работы специалистов. Уместен в случае потери связи между центральной нервной системой и мышцами руки;

- Имплантация электродов к периферическим нейронам мышц оставшейся части конечности, этот способ также довольно дорогостоящий и нуждающийся в серьезной работе множества профессионалов;

- Регистрация биоэлектрической активности головного мозга датчиком электроэнцефалографии (ЭЭГ). Имеет ряд технических сложностей. Во-первых, систему надо обучать заново при каждом перемещении электродов. Во-вторых, сигнал неустойчив к наводкам и помехам;

- Определение мышечной активности путем измерения отклонения эластичной стенки тензометрического датчика. Принцип непрактичен из-за большой погрешности в показаниях;

- Регистрация напряжения на мышце, вызванное ее активностью с помощью электромиографии (ЭМГ).

Бионический протез как средство помощи людям с ампутациями. В настоящее время наиболее популярными бионическими протезами являются *VeBionic 3* (благодаря отдельным электродвигателям для каждого пальца руки, *VeBionic* позволяет выполнять скоординированные движения, максимально приближенные к естественным движениям обычной человеческой руки); *Michelangelo* (он имеет небольшой вес и натуральный внешний вид, благодаря четырем подвижным пальцам и большому пальцу, который двигается отдельно от них, кисть *Michelangelo* обеспечивает инновационную систему захвата) и *i-Limb* (искусственная рука *i-Limb UltraRevolution*, ею можно управлять при помощи мышц предплечья, а также через мобильный телефон, искусственную руку *i-Limb* можно подключить через беспроводной интерфейс *Bluetooth* к своему смартфону, на котором установлено необходимое программное обеспечение), каждый из которых имеет ряд преимуществ и недостатков друг относительно друга. Самым главным недостатком представленных моделей является высокая стоимость [5-7].

В России на данный момент исследование по оживлению бионических протезов рук и купированию фантомных болей проходит во Владивостоке. Проектом занимается компания «Моторика» совместно с Медицинским центром ДВФУ и Центром нейробиологии и нейрореабилитации им. Владимира Зельмана Сколтеха. После успешной операции по имплантации электродов специалисты приступили к проведению электростимуляций. Первый этап исследования в декабре 2021 года подтвердил возможность проведения инвазивного нейрофизиологического тестирования на базе отечественной инфраструктуры. С помощью электростимуляции периферических нервов специалисты смогли добиться у первых пилотов появления ощущений (давления, температуры, покалываний) и устойчивого подавления фантомных болей [8].

У каждого из данных видов протезов есть свои недостатки, начиная от таких как малая функциональность/полное отсутствие каких-либо функций и заканчивая высокой себестоимостью.

Предпосылки разработки. Целью проводимых исследований является разработка бионического протеза кисти рук, обладающего достаточно высокой функциональностью и возможностью адаптации под конкретного человека, при сравнительно невысокой себестоимости.

Проведя детальный анализ существующих протезов кисти и предплечья, их классификации и вариантов связи с человеком, можно определить наиболее эффективный вариант для разработки — протез, позволяющий вернуть людям, утратившим конечность, к привычной жизни: вариант протезирования — экзопротезирование. Выбор обусловлен практичностью и удобством метода. Протез крепится снаружи, не требует сложной операции для какого-либо вживления. Тип протеза — бионический, он имеет наибольший функционал по сравнению с другими возможными вариантами, частично восполняет функции утраченной конечности, следовательно, способен вернуть человека к прежнему образу жизни. Способ связи протеза с человеком — поверхностная ЭМГ. Снятие показаний о мышечной активности с помощью датчиков электромиографии не является наиболее точным методом, но данный способ доступен и устойчив к электромагнитным помехам, благодаря специфическому устройству датчика. Единственной проблемой может быть мышечная атрофия.

При проектировании протеза кисти руки разработана структурная схема (рис. 1), создана компьютерная 3D модель (рис. 2).

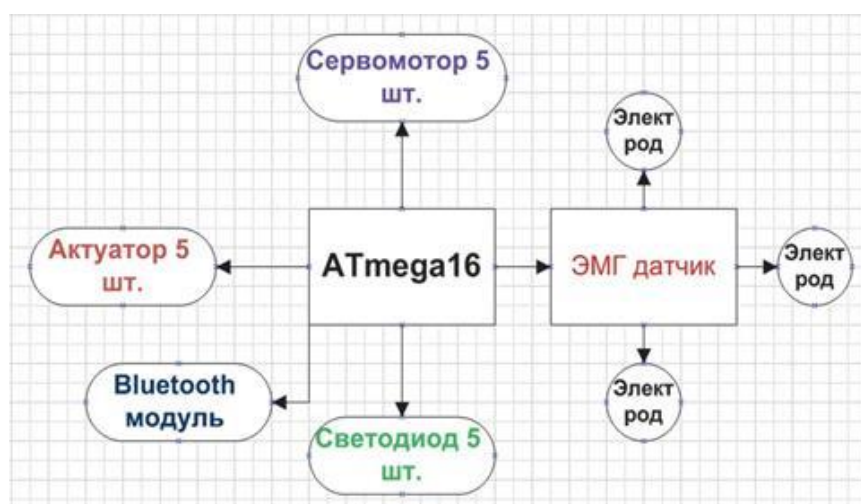


Рис. 1. Структурная схема устройства

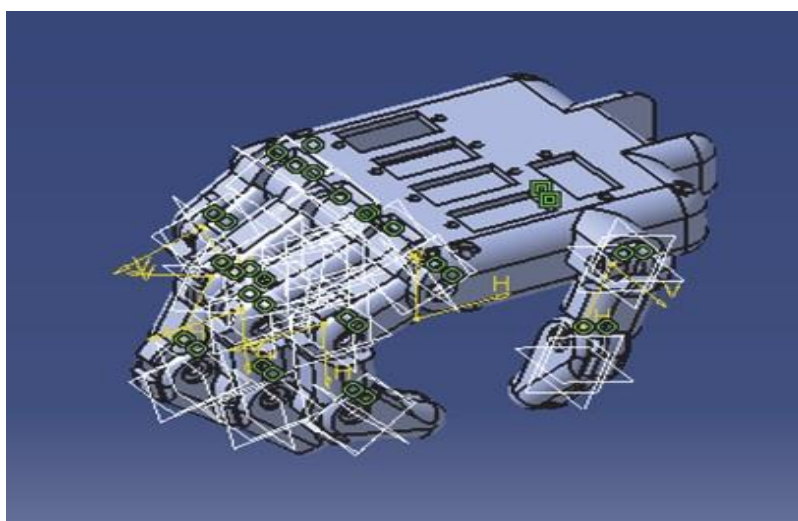


Рис. 2. 3D модель и макет устройства

Электрическая схема ведущей платы управления протезом (ведущего контроллера) показана на рис. 3.

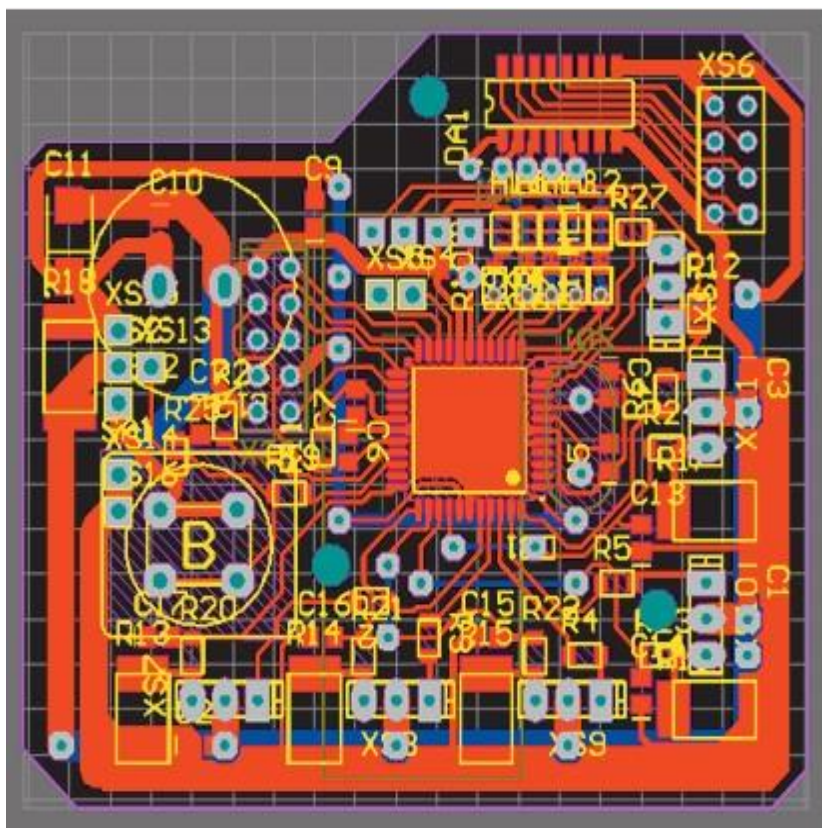


Рис. 3. Чертеж ведущей платы управления и модуль в сборе

Аппаратную часть протеза планируется реализовать в виде двух модулей, связанных между собой: модуля протеза и модуля обратной связи с функцией управления.

Механические элементы протеза изготавливаются посредством 3D принтера из PLA пластика. Применение аддитивных технологий позволит обеспечить изготовление протезов по индивидуальным проектам под особенности анатомии каждого протезируемого без существенных затрат.

Для перемещения пальцев протеза планируется использовать сервоприводы, по одному на каждый палец. Питание серводвигателей планируется реализовать от литий-ионной аккумуляторной батареи. Управление приводами осуществляться посредством ШИМ сигнала.

Предлагаемый способ реализации человеко-машинного интерфейса протеза включает в себя механизм сигнализации пациенту о возможности выполнения одной из набора двигательных функций и механизм запуска на выполнение требуемой функции.

Механизм сигнализации пациенту разрабатывается посредством системы пространственно распределенных вдоль какого-либо органа (например, здоровой руки или ноги) актуаторов, создающих тактильное воздействие в заданной точке. При этом степень силового воздействия актуатора системы сигнализации на поверхность тела протезируемого находится в непосредственной зависимости от силы воздействия внешней среды на элемент исполнительного механизма протеза или протез в целом, определяемой исходя из потребления тока сервоприводами.

Сигнал на запуск выполнения требуемой функции протеза протезируемый подает, используя оставшиеся после ампутации кисти мышцы. Сигнал снимается с остаточных мышц с помощью электромиографических датчиков (EMG датчиков) [9], накладываемых на кожу культи без хирургического вмешательства.

Так как каждый человек имеет разный потенциал действия. Для того, чтобы пользователь мог самостоятельно настраивать протез, планируется создать режим калибровки. Принцип прост, при калибровке выводятся минимальное (расслабленная мышца) и среднее максимальное показания (мышца в напряжении) датчика. При последующем развитии в планах разработать протез, способный управлять каждым пальцем отдельно, следовательно имеющим возможность воспроизведения различных жестов. Эти жесты человек, сможет сам настраивать с помощью пользовательского приложения для Android и Windows.

Заключение. Разрабатываемый бионический протез обладает следующими преимуществами по сравнению с аналогами:

- обеспечение управления двигательными функциями протеза без необходимости проведения подготовительных хирургических операции;
- предложенная реализация человеко-машинного интерфейса позволит тактильно определить силу воздействия протеза на предмет (предмета на протез) для каждого пальца протеза;
- использование аддитивных технологий при реализации механической части протеза позволит подойти индивидуально к каждому клиенту.

Основным направлением совершенствования протеза является создание более чуткого интерфейса, позволяющего управлять движением каждого пальца протеза в отдельности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Протезирование рук после ампутации [Электронный ресурс] / Протезирование конечностей : [сайт] – URL: <http://xn7sbflcbakjcpj9aebddhdve0bgs0k.xn--p1ai/> (дата обращения: 20.07.2022). – Текст: электронный.
2. Виды протезов рук [Электронный ресурс] / Ортокосмос : [сайт]. – Режим доступа : <http://www.ortokosmos.ru/poleznaya-informatsiya/vidy-protezo-rov-ruk/> (дата обращения: 20.07.2022). – Текст: электронный.
3. Протезы и ортезы: виды, особенности, назначение [Электронный ресурс] / PULSE : [сайт]. – URL: <http://ghp-pulse.com/blog/protezy-i-ortezy-vidy-osobennosti-naznachenie> (дата обращения: 20.07.2022). – Текст: электронный.
4. Протезы верхних конечностей [Электронный ресурс] / MG Afrodita : [сайт]. – URL: <http://medicina-germany.ru/protezy-verh-nix-konechnostej> (дата обращения: 20.07.2022). – Текст: электронный.
5. Bebionic3 — новое поколение полностью подвижных миоэлектрических кистей [Электронный ресурс] / Современная ортопедическая продукция : [сайт]. – URL: <http://soportho.ru/bebionic3/> (дата обращения: 25.07.2022). – Текст: электронный.
6. Микеланжело — новинка протезирования [Электронный ресурс] / Лечение в Израиле : [сайт]. – URL: <https://ismedicine.wordpress.com/2011/09/22/> (дата обращения: 25.07.2022). – Текст: электронный.
7. i-Limb – протез руки под управлением смартфона [Электронный ресурс] / Novate : [сайт]. – URL: <http://www.novate.ru/blogs/220413/22900/> (дата обращения: 28.07.2022). – Текст: электронный.
8. Юринова, Н. Кружок рукоделия [Текст] / Н. Юринова // Бизнес-журнал. – 2015. – №11. - С. 38 – 41.
9. Воротников, С. А. Биометрическая система управления протезом руки [Текст] / С. А. Воротников, В. С. Струнин, Н. А. Выборнов // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – № 3 (23). – 2013. – С. 147 – 162.

Поступила в редакцию 26.10.2022 г., рекомендована к печати 10.11.2022 г.

**DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF A LAYOUT OF A BIONIC PROSTHESIS
OF THE HAND**

Gorbatenkova A.I., Bondarenko V.I.

The article conducted a study, the result of which was the development and design of a model of a biotic prosthesis to help people with disabilities. Existing hand prostheses were studied and analyzed. It is proposed to develop our own human-machine interface, mechanical units and control system to perform the main motor functions of the prosthesis. The results obtained can be used to create a prototype.

Keywords: control system, bionic prosthesis, hand prosthesis, feedback, actuator.

Горбатенкова Анастасия Игоревна

магистрант кафедры компьютерных технологий
ГОУ ВПО «Донецкий национальный
университет»,
Российская Федерация, ДНР, г. Донецк.
E-mail: racksoonhy@gmail.com

Gorbatenkova Anastasia Igorevna

Master student at Department of Computer
Technologies of Donetsk National University,
Russian Federation, DPR, Donetsk.

Бондаренко Виталий Иванович

кандидат технических наук, доцент, доцент
кафедры компьютерных технологий ГОУ ВПО
«Донецкий национальный университет»,
Российская Федерация, ДНР, г. Донецк.
E-mail: bondarenko@donnu.ru

Bondarenko Vitalii Ivanovich

Candidate of Technical Sciences, Associate
Professor, Associate Professor at Department of
Computer Technologies of Donetsk National
University,
Russian Federation, DPR, Donetsk.

УДК 004.8

**МАКСИМИЗАЦИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ОДНОЗНАЧНОСТИ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ,
СОСТОЯЩИХ ИЗ МНОЖЕСТВА ПРИЗНАКОВ**

© 2022 Булыгин В.В.

Предложен алгоритм машинного обучения, сутью которого является уменьшение неопределенности входного потока данных. Из множества признаков выбирается такое его подмножество, что минимизируется количество неоднозначных переходов. На выходе получаем фазовый портрет объекта, представленный графов. Результат алгоритма можно подать на вход иерархического обучения с подкреплением в мультиагентной среде.

Ключевые слова: коэффициент однозначности, машинное обучение, состояние.

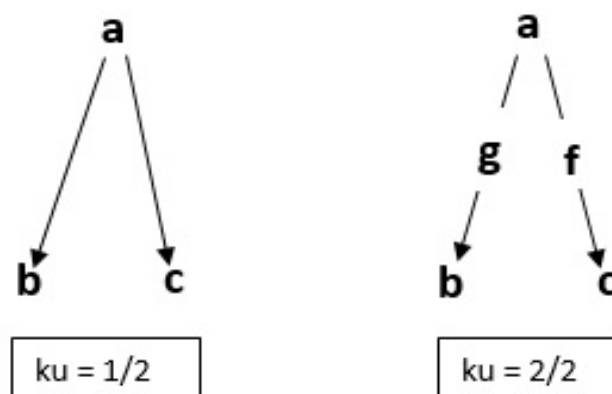
Введение. Задача кластеризации в машинном обучении - задача выбора метрики. Наиболее часто используемые - это алгоритм k-средних (задается количество кластеров, центральные точки сдвигаются к средним значениям) [1], DBSCAN (группировка по плотности с заданным наперед параметром максимального расстояния до соседа) [2]. В любом случае, в основе этих методов лежит группировка по расстоянию.

В статье предложен иной способ группировки: мера (метрика) предсказуемости, сходная по смыслу уменьшению энтропии в процессе наблюдения за потоком данных. Базовым понятием при таком подходе является кибернетическое понятие перехода [3] между состояниями.

Под потоком данных понимается последовательность (чаще всего по времени) векторов с признаками. Основа логики такой метрики - максимизация коэффициента однозначности ku . Чем он выше, тем предсказуемой является объект исследования.

Этот коэффициент ku рассчитывается как дробь: в знаменателе число всех переходов; в числителе число однозначных переходов, которые могли бы быть.

Например, на рис. 1, если из состояния (a) следует при каком-то действии либо состояние (c), либо состояние (b), то коэффициент однозначности будет равен $1/2$. Поскольку число всех переходов 2, а число однозначных переходов из (a) для выбранного (одного) действия могло быть только 1.

Рис. 1. Расчет ku

Задача оптимизации тогда ставится так, что должны быть найдены такие действия, которые бы однозначно переводили бы состояние (a) в эти 2 состояния: либо (c), либо (b).

Пусть найдены действия (g) и (f), такие что: из (a) при действии (f) следует только (c), из (a) при действии (g) следует только (b). Тогда коэффициент будет равен $2/2$, что больше его первоначального значения $1/2$. В итоге неопределённость перехода из текущего состояния в следующее состояние будет полностью устранена.

Таким образом можно будет не только группировать объекты (в том числе вложенные друг в друга), но и предсказывать поведение каждого.

Ниже на рис. 2 описание метода на языке Python с расчетом коэффициента.

```
def get_ku(graph):
    '''Возвращает (коэффициент однозначности, размер)'''
    n = 0; u = 0
    for x in graph:
        for y in graph[x]:
            if y[0] != []:
                u += len(y[0]) - 1
                n += 1
    if n != 0:
        return (round(1- u/(n+u), 3), n+u)
    else:
        return (None, None)
```

Рис. 2. Расчет ku на Python

Для рис. 1 соответствующий граф на Python выглядел бы: $graph = \{("a",): [[["b",), ("c",)], ("action",)]]\}$ с $ku=1/2$; или (если знаем о действии) $graph = \{("a",): [[["c",), ("f",)], [{"b",), ("g",)]]\}$ с $ku=2/2$.

Псевдокод алгоритма.

1. Получаем фрейм данных с некоторым количеством признаков.
2. Генерируем гипотезы (состояние, действие) из фрейма данных с занесением в базу данных. Состоянием и действием являются кортежи из различных комбинаций признаков.
3. Выполняем цикл из базы данных по ключам (состояние, действие).
 - 3.1. Выполняем внутренний цикл на величину сдвига (операция `shift` в `pandas`) по выбранному состоянию относительно действия.
 - 3.1.1. Получаем список подфреймов, удаляя записи с `NaN` и исключая подфреймы с одной записью.
 - 3.1.2. Формируем граф, соединяя наблюдение с предыдущим его представлением. Рассчитываем ku .
4. Отбираем графы с большим ku .

Организация экспериментов на данных с игры пинг-понг. Признаками являются координаты X , Y мяча на поле размером 3×5 . С учетом сдвига различные комбинации признаков в качестве состояния и различные комбинации признаков в качестве действия образуют гипотезы: $((y),(x))$, $((x),(y))$, $((y),(y))$, $((x),(x))$, $((y,x),(y,x))$, $((x,y),(x,y))$, $((y,x),(x,y))$, $((x,y),(y,x))$.

Наблюдения за мячом игры в пинг-понг
 y - координата y мяча, x - координата x мяча

y, x	y, x	y, x	y, x	y, x	Из $(y, x) = (1, 2)$ следует
1,1	1,1	2,1	0,1	1,1	неопределенность: либо (1,3)
2,2	1,2	1,2	1,2	0,2	либо (0,3), либо (2,3)
1,3	1,3	0,3	2,3	1,3	
0,4	1,4	1,4	1,4	2,4	Нужно найти такое действие,
1,5	1,5	2,5	0,5	1,5	которое максимизирует k_u

Рис. 3. Пинг-понг

Ниже на рис. 4 представлен вывод программы для игры пинг-понг. Найдены 4 гипотезы с коэффициентом однозначности, равным единице.

```

_best_bd
(((x'), (y')), [1.0, 1.0, 1.0])
(((y'), (y.1')), [0.6, 1.0, 1.0])
(((x'), (x.1')), [1.0, 1.0, 1.0])
(((y', 'x'), (y.1', 'x.1')), [0.6, 1.0, 1.0])

_get_bd_graph key = (('y', 'x'), ('y.1', 'x.1')) ind_shift = 1
(2.0, 4.0) : [[[(1.0, 5.0)], (1.0, 3.0)]]
(1.0, 2.0) : [[[(1.0, 3.0)], (1.0, 1.0)], [(0.0, 3.0)], (2.0, 1.0)], [(2.0, 3.0)], (0.0, 1.0)]]
(0.0, 4.0) : [[[(1.0, 5.0)], (1.0, 3.0)]]
(1.0, 5.0) : []
(0.0, 3.0) : [[[(1.0, 4.0)], (1.0, 2.0)]]
(1.0, 4.0) : [[[(1.0, 5.0)], (1.0, 3.0)], [(2.0, 5.0)], (0.0, 3.0)], [(0.0, 5.0)], (2.0, 3.0)]]
(2.0, 3.0) : [[[(1.0, 4.0)], (1.0, 2.0)]]
(0.0, 2.0) : [[[(1.0, 3.0)], (1.0, 1.0)]]
(0.0, 5.0) : []
(2.0, 2.0) : [[[(1.0, 3.0)], (1.0, 1.0)]]
(2.0, 5.0) : []
(1.0, 3.0) : [[[(0.0, 4.0)], (2.0, 2.0)], [(1.0, 4.0)], (1.0, 2.0)], [(2.0, 4.0)], (0.0, 2.0)]]

```

Рис. 4. Вывод по игре пинг-понг

Интерес представляет гипотеза $((y, x), (y, x))$, для которой $k_u=1$. Это верно с $ind_shift=1$ ($shift=-1$) или с $ind_shift=2$ ($shift=1$), т.е с разным сдвигом состояния относительно действия. В случае $shift=-1$ действием будет предшествующее состояние: следующее состояние однозначно зависит от предыдущего (по отношению к текущему). Если же сдвиг не производить, то $k_u=0.6$, что говорит о низкой предсказуемости.

Вывод показывает, что из состояния $(y=2, x=4)$ при действии $(y=1, x=3)$ однозначно следует следующее состояние $(y=1, x=5)$. Однозначность соблюдается и при других переходах.

Ценно при этом (выявлена гипотеза с $k_u=1$) то, что по началу движения мяча можно однозначно судить каково будет конечное состояние. Так, если предыдущее состояние $(y=0, x=1)$, а текущее $(y=1, x=2)$, то конечным состоянием будет $(y=0, x=5)$ и только оно.

Есть и другие, тривиальные гипотезы с $k_u=1$. Например, что изменение координаты x (без учета по y) однозначно, поскольку x всегда изменяется в большую сторону.

Организация экспериментов на данных из примера "дом с привидениями".
Данные примера ниже взяты из главы машины со входом [3]. Термин машинного обучение действие здесь соответствует понятию вход машины.

Дом с привидениями из книги Эшби "Введение в кибернетику":
с1 - пение, с2 - смех, с3 - орган, с4 - ладан
,,, - не наблюдалось, 1 - есть, 0 - нет

с1,с2,с3,с4	с1,с2,с3,с4	с1,с2,с3,с4	с1,с2,с3,с4
1, 0, 0, 1	1, 0, 1, 1	0, 0, 1, 0	0, 0, 1, 0
1, 1, 0, 1	0, 1, 0, 1	1, 1, 1, 1	1, 1, 1, 1
1, 1, 1, 0	0, 0, 0, 0	1, 1, 0, 0	1, 1, 1, 1
1, 0, 1, 0	0, 1, 1, 1	1, 0, 1, 0	
0, 0, 0, 1	0, 0, 0, 0	0, 0, 1, 1	Является ли нечто из этого множества признаков (одни из которых являются состоянием, а другие действием) объектом?
0, 0, 1, 1	0, 1, 1, 0	, , ,	
1, 0, 0, 0	0, 1, 1, 1	0, 0, 0, 0	
1, 0, 1, 0	0, 0, 0, 0	0, 1, 0, 0	
0, 0, 1, 0	0, 1, 1, 0	0, 1, 1, 0	
1, 1, 0, 0	0, 1, 0, 1	0, 1, 0, 1	

Рис. 5. Дом с привидениями

В отличие от игры пинг-понг, анализ дома с привидениями сложнее в смысле перебора гипотез. Пусть такой гипотезой рис. 6 выбрано ((пение, смех), (ладан)). Видно, что $k_u=0.667$. В частности, потому, что из (пение есть, смеха нет) следует как (пение нет, смех есть), так и (пение есть, смех есть), если выбрано действие (ладан горит), т.е. неоднозначно.

```

__НАБЛЮДЕНИЕ (('c1', 'c2'), ('c4',)) ind_shift = 0

(0.0, 0.0) (0.0,)
(0.0, 1.0) (0.0,)
(0.0, 1.0) (0.0,)
(0.0, 1.0) (1.0,)
(0.0, 0.0) (0.0,)
(1.0, 1.0) (1.0,)
(1.0, 1.0) (1.0,)

__граф по этому наблюдению
(0.0, 0.0) : [[[(0.0, 1.0), (1.0, 1.0)], (0.0,)]]
(0.0, 1.0) : [[[(0.0, 1.0)], (0.0,)], [(0.0, 0.0)], (1.0,)]]
(1.0, 1.0) : [[[(1.0, 1.0)], (1.0,)]]

Коэффициент однозначности  $k_u = 0.667$  по всем наблюдениям
для (('c1', 'c2'), ('c4',)) ind_shift = 0

(1.0, 0.0) : [[[(0.0, 1.0), (1.0, 1.0)], (1.0,)], [(1.0, 0.0), (0.0, 0.0)], (0.0,)]]
(1.0, 1.0) : [[[(1.0, 1.0)], (1.0,)], [(1.0, 0.0)], (0.0,)]]
(0.0, 0.0) : [[[(1.0, 0.0), (0.0, 0.0)], (1.0,)], [(0.0, 1.0), (1.0, 1.0)], (0.0,)]]
(0.0, 1.0) : [[[(0.0, 0.0)], (1.0,)], [(0.0, 1.0)], (0.0,)]]

```

Рис. 6. Вывод гипотезы ((пение, смех), (ладан))

Если стоит задача управлять (и пением, и смехом), то подходящей гипотезой будет гипотеза с $k_u=1$: ((пение, смех), (орган, ладан)) рис. 7

```

__best_bd
((( 'c1' ,), ('c2' , 'c3' , 'c4' )), [1.0])
((( 'c2' ,), ('c1' , 'c3' , 'c4' )), [1.0])
((( 'c1' ,), ('c2' , 'c3' )), [1.0])
((( 'c1' , 'c2' ), ('c3' , 'c4' )), [1.0])
((( 'c2' ,), ('c1' , 'c4' )), [1.0])

__get_bd_graph key = (('c1' , 'c2' ), ('c3' , 'c4' )) ind_shift = 0
(1.0, 0.0) : [[[(1.0, 1.0)], (0.0, 1.0)], [[(0.0, 0.0)], (1.0, 0.0)],
[[ (1.0, 0.0)], (0.0, 0.0)], [[(0.0, 1.0)], (1.0, 1.0)]]
(1.0, 1.0) : [[[(1.0, 1.0)], (0.0, 1.0)], [[(1.0, 0.0)], (1.0, 0.0)],
[[ (1.0, 0.0)], (0.0, 0.0)], [[(1.0, 1.0)], (1.0, 1.0)]]
(0.0, 0.0) : [[[(0.0, 0.0)], (0.0, 1.0)], [[(1.0, 0.0)], (1.0, 1.0)],
[[ (1.0, 1.0)], (1.0, 0.0)], [[(0.0, 1.0)], (0.0, 0.0)]]
(0.0, 1.0) : [[[(0.0, 0.0)], (0.0, 1.0)], [[(0.0, 0.0)], (1.0, 1.0)],
[[ (0.0, 1.0)], (1.0, 0.0)], [[(0.0, 1.0)], (0.0, 0.0)]]

```

Рис. 7. Вывод гипотезы ((пение, смех), (орган, ладан)) при $n_shift=0$

Но и другие гипотезы имеют смысл. Оказывается, есть возможность управлять по отдельности и пением, и смехом. Но при условии, что кроме органа и ладана, будет доступ к смеху и пению соответственно.

Выводы. Алгоритм, максимизирующий коэффициент однозначности, показал 100% результат на двух тестовых случаях. Можно сказать, что если закономерность в данных существует, то она будет найдена. Ценность в том, что его можно задействовать для иерархического обучения с подкреплением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рашка, С. Python и машинное обучение / С. Рашка. – пер. с англ. – Москва: ДМК-Пресс, 2017. – 414 с.
2. Мюллер, А. Машинное обучение с помощью Python / А. Мюллер, С. Гвидо. – пер. с англ. – Москва: Диалектика, 2017. – 472 с.
3. Эшби, У. Р. Введение в кибернетику / У. Р. Эшби. – пер. с англ. – Москва: Изд-во иностр. лит 1959. – 432 с.

Поступила в редакцию 02.11.2022 г., рекомендована к печати 15.11.2022 г.

MAXIMIZING THE UNIQUENESS COEFFICIENT FOR OBJECTS CONSISTING OF A SET OF FEATURES

Bulygin V.V.

A machine learning algorithm is proposed, the essence of which is to reduce the uncertainty of the input data stream. From the set of features, such a subset of it is selected that the number of ambiguous transitions is minimized. At the output, we get a phase portrait of the object, represented by graphs. The result of the algorithm can be submitted to the input of hierarchical reinforcement learning in a multi-agent environment.

Keywords: unambiguity coefficient, machine learning, state.

Булыгин Владимир Викторович
инженер ПАО «Ростелеком»,
Российская Федерация, г. Новосибирск.
E-mail: bvv2311@mail.ru

Bulygin Vladimir Viktorovich
Engineer of PJSC Rostelecom,
Russian Federation, Novosibirsk.

УДК 004.932.4

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ИЗОБРАЖЕНИЯ

© 2022 Федчук А.В., Бондаренко В.И.

В работе рассмотрена задача повышения качества изображения. Рассмотрены и проанализированы существующие решения при использовании глубокого обучения в нейронных сетях, Проведен анализ нейронной сети Real-ESRGAN. Продемонстрирован метод и результаты повышения качества изображения с помощью исследуемой нейронной сети.

Ключевые слова: глубокое обучение, нейронная сеть, изображение, Real-ESRGAN.

Введение. В последние годы значительно повысился интерес к высокому качеству изображения. Хотя технологии с каждым годом повышают качество необработанных кадров при съемке и генераций в прошлых и настоящих изображениях до сих пор присутствуют: шумы, искажения, плохая детализация. Чтобы первичные изображения характеризовались высоким визуальным качеством, которое теряется из-за неудовлетворительных условий получения изображений и влияния помех при съемке или не доработки технологии съемки для устранения помех и искажений, применяют алгоритмы сглаживания.

Повышение качества изображения обычно включает ряд преобразований: повышение разрешения, повышение детализации, контрастности, осветление темной фотографии, устранение оптических искажений, шумоподавление, улучшение размытого фото.

При использовании математических алгоритмов не всегда возможно определить проблему. Для этого используются различные виды генеративных нейронных сетей, которые могут определить дефекты изображения и правильно определить проблему, выбрать метод коррекции и повышения качества кадра.

Существуют различные типы нейронных сетей, основанные на четырех моделях или методах: предсказательные модели, краевые методы, статистические и методы, основанные на паттернах, которые используются для улучшения качества изображения. Например, для удаления шума и восстановления изображений с высоким разрешением из данных изображений с низким разрешением (супер-разрешение) наилучшее качество достигается на методах, основанные на паттернах.

Причины возникновения дефектов в изображениях. На снимках, сделанных с помощью мобильных телефонов, фотоаппаратов, которые не имеют достаточной возможности для детализации картинки, могут иметь место ухудшение качества, таких как размытие камеры, шум сенсора, артефакты резкости и сжатие JPEG или например, отредактированные и загруженные в социальные сети изображения на стороне сервера опять сжимаются, что приводит к эффекту «шкализации» [1].

Основная часть. На данный момент существуют различные шумы в изображениях, наиболее широко известны два вида: аддитивный гауссов шум и пуассоновский.

Чтобы научить нейросеть, основанную на паттернах, повышать качество изображения, требуется ухудшить изображение, произвести искусственную деградацию, и использовать оригинал как эталон. Это позволяет не только увеличить

исходное разрешение, но еще и повысить качество изображения, делая текстуры картинки более естественными. За несколько проходов алгоритм, как правило, создает изображение с еще большей точностью и реалистичностью [2].

Деградации изображения. Процесс деградации изображения не может быть смоделирован классической моделью первого порядка, для этого применяется модель деградации высокого порядка.

Каждая модель деградации включает множество повторяющихся процессов, где каждый процесс применяет классическую модель деградации (1) одной вычислительной процедурой, но разными гиперпараметрами.

$$x = D(y) = [(y \sim k) \downarrow r + n]. \quad (1)$$

Работа нейронных сетей высокого порядка отличается от применения математических функций, в основном, по времени выполнения одной и той же операции. В стратегиях случайной перетасовки могут также включиться повторяющиеся процессы деградации, например, двойное размытие или сжатие JPEG. Процесс деградации высокого порядка является ключевым, так как не все перетасованные деградации необходимы. Для того чтобы сохранить разрешение изображения в разумном диапазоне, необходимо понижение частоты дискретизации (2) заменить операцией случайного изменения размера. Эмпирически принимаем процесс деградации второго порядка, который может разрешить большинство реальных случаев, сохранив при этом простоту.

$$x = D_n(y) = (D_n \circ \dots \circ D_2 \circ D_1)(y). \quad (2)$$

На рис. 1 изображен общий конвейер генерации чистых синтетических данных.

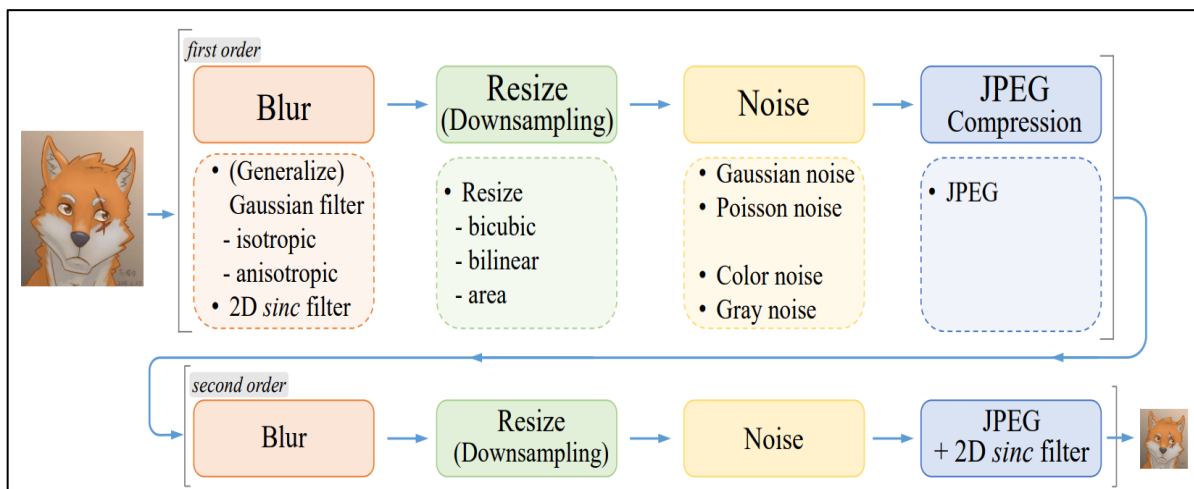


Рис. 1. Общий конвейер генерации чистых синтетических данных

Улучшенный процесс деградации высокого порядка не является совершенным и не может охватить все пространство деградации в реальном мире, он просто расширяет разрешимую границу деградации предыдущих слепых методов SR за счет модификации процесса синтеза данных. Несколько типичных сценариев ограничения приведены на рис. 2.

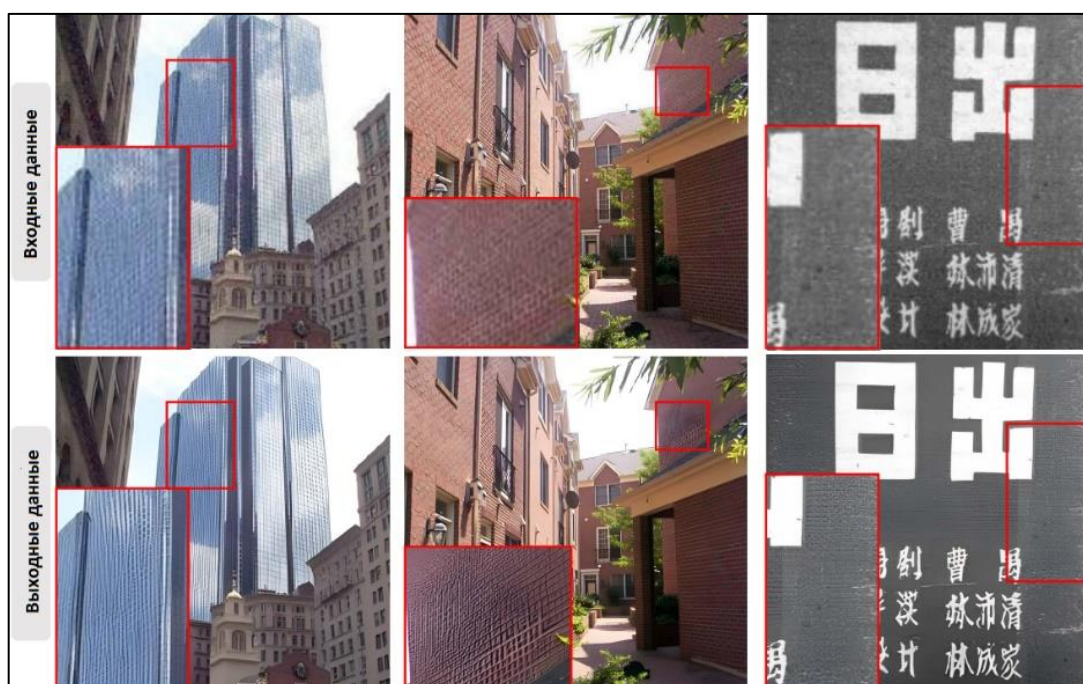


Рис. 2. Типичные ограничения

Артефакты звона и превышения. Вблизи резких переходов в изображении часто проявляются артефакты звона и превышения как полосы или «призраки» вблизи краев.

Артефакты превышения обычно сочетаются со звонящими артефактами, которые проявляются в виде увеличенного скачка при переходе края. Основная причина этих артефактов заключается в том, что сигнал ограничен полосой пропускания без высоких частот. Эти артефакты очень распространены и обычно возникают из-за алгоритма резкости, сжатия JPEG и т.п.

На рис. 3 показаны некоторые реальные образцы, страдающие от артефактов звона и превышения.

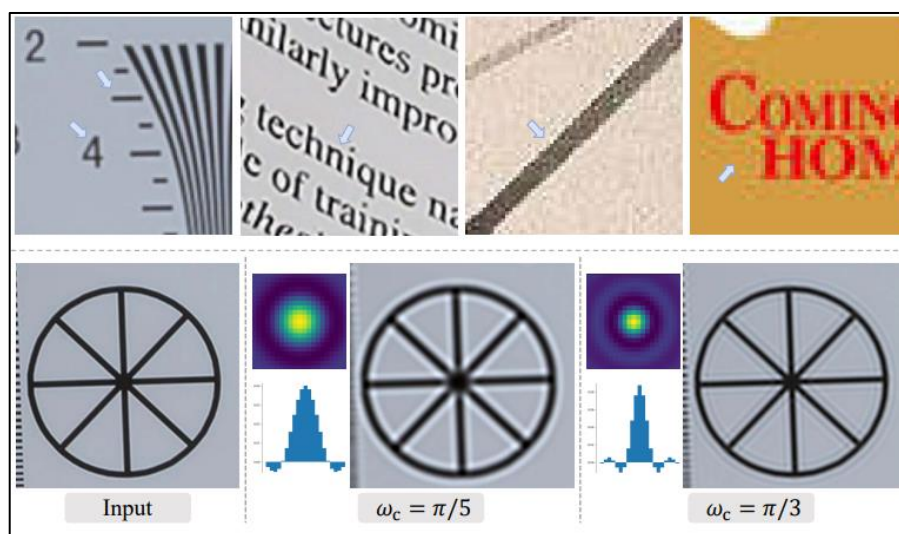


Рис. 3. Реальные образцы артефакта звона

Для синтеза артефактов звона и превышения для обучающих пар используют sinc-фильтр, идеализированный фильтр, который отсекает высокие частоты.

Ядро sinc-фильтра может быть выражено следующим образом:

$$k(i, j) = \frac{\omega_c}{2\pi\sqrt{i^2 + j^2}} J_1(\omega_c\sqrt{i^2 + j^2}),$$

где i, j – координаты ядра;

ω_c – частота среза;

J_1 – функция Бесселя первого порядка первого рода.

На рис. 3 показаны sinc-фильтры с различными частотами среза и соответствующие им отфильтрованные изображения. Фильтр может синтезировать артефакты звона и превышения, особенно вносимые чрезмерно резкими эффектами.

Используются sinc-фильтры в двух местах: в процессе размытия и на последнем этапе синтеза. Порядок последнего sinc-фильтра и сжатия JPEG меняется, чтобы покрыть большее пространство деградации. Некоторые изображения могут быть сначала чрезмерно заточены с артефактами превышения, а затем иметь сжатие JPEG, но есть изображения, которые могут сначала выполнять сжатие JPEG с последующей операцией резкости.

Обучение сети Real-ESRGAN. Используется тот же генератор «SR-network», что и ESRGAN, глубокой сети с несколькими остаточными плотными блоками RRDB. А также расширена оригинальная архитектура ESRGAN $\times 4$ для выполнения сверхразрешения с масштабным коэффициентом $\times 2$ и $\times 1$. Поскольку ESRGAN является тяжелой сетью, сначала используется «pixel-unshuffle», обратная операция «pixelshuffle», чтобы уменьшить пространственный размер и увеличить размер канала перед подачей входных данных в основную архитектуру ESRGAN. Таким образом, большая часть вычислений выполняется в меньшем пространстве разрешения, что позволяет снизить объем памяти графического процессора и потребление вычислительных ресурсов.

Дискриминатор со спектральной нормализацией SN. Real-ESRGAN нацелен на гораздо большее пространство деградации, чем ESRGAN, оригинальная конструкция дискриминатора в ESRGAN больше не подходит. В частности, дискриминатор в реальном ESRGAN требует большей дискриминационной мощности для сложных результатов обучения. Вместо того чтобы различать глобальные стили, он также должен создавать точную градиентную обратную связь для локальных текстур. Также усовершенствован дискриминатор в стиле VGG в ESRGAN до U-Net конструкции со скиповыми соединениями (рис. 4). U-Net выводит значения реалистичности для каждого пикселя и может предоставлять генератору подробную обратную связь по каждому пикселю.

В то же время структура U-Net и усложняющие деградации также увеличивают нестабильность обучения. Для стабилизации динамики обучения используется регуляризация спектральной нормализации. Наблюдения показывают, что спектральная нормализация оказывается полезной для облегчения чрезмерно резких и раздражающих артефактов, возникающих при обучении GAN. Таким образом, можно обучить Real-ESRGAN и добиться хорошего баланса локального улучшения деталей и подавления артефактов.

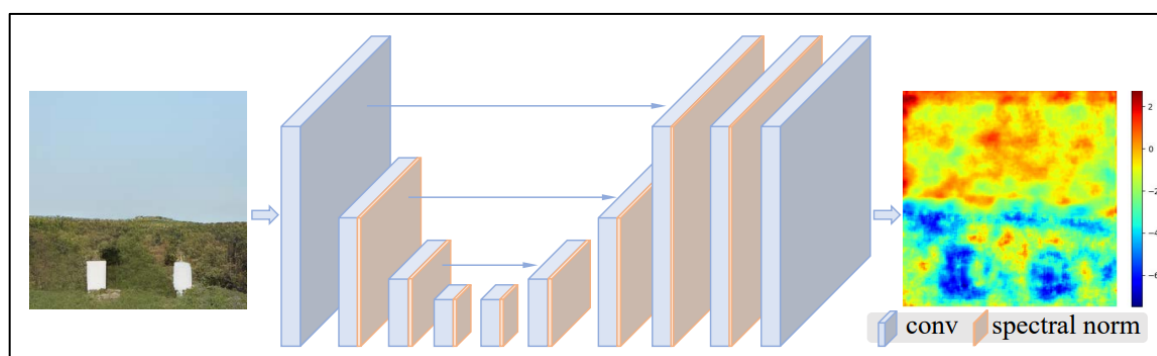


Рис. 4. Конструкции со скиповыми соединениями

Процесс обучение модели Real-ESRNet представляет собой обучение PSNR-ориентированной модели с потерей L1. Затем обученная PSNR-ориентированная модель используется в качестве инициализации генератора и обучается Real-ESRGAN с комбинацией потери L1, потери восприятия и потери GAN [3].

Ограничения данного способа. Хотя Real-ESRGAN может восстанавливать большинство изображений реального мира, у него все еще есть некоторые ограничения (рис. 2):

1) Некоторые восстановленные изображения, сцены зданий и помещений имеют скрученные линии из-за проблем со сглаживанием.

2) Обучение GAN вводит неприятные артефакты на некоторых образцах.

3) Нейросеть не может устранить сложные деградации вне распространения в реальном мире. Более того, этот метод не может усилить артефакты. Эти недостатки оказывают большое влияние на практическое применение Real-ESRGAN, которые нуждаются в устранении в будущих работах.

Вывод. В статье рассмотрены принципы использования нейронных сетей, в частности, Real-ESRGAN для улучшения качества изображения.

Повышение качества изображения, возможно только в ограниченных пределах, так как превышения определенных визуальных характеристик сказывается на нереалистичности картинки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цифровой износ – старое явление на новый лад. – Текст: электронный. // Habr [сайт]. – URL: <https://habr.com/ru/post/340714/> (дата обращения: 07.09.2022).
2. Lucic, M. et al. Are GANs created equal? A large-scale study / M. Lucic et al. //Advances in neural information processing systems. – 2017. – P. 700-709.
3. Wang, X. et al. Real-esrgan: Training real-world blind super-resolution with pure synthetic data / X. Wang // Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision. – 2021. – P. 1905-1914.

Поступила в редакцию 07.11.2022 г., рекомендована к печати 18.11.2022 г.

APPLICATION OF DEEP LEARNING METHODS TO IMPROVE IMAGE QUALITY

Fedchuk A.V., Bondarenko V.I.

The paper considers the problem of image quality improvement. The existing solutions for the use of deep learning in neural networks are considered and analyzed, the analysis of the Real-ESRGAN neural network is carried out. The method and results of image quality improvement using the studied neural network are demonstrated.

Keywords: deep learning, neural network, image, Real-ESRGAN.

Федчук Александр Викторович

магистрант кафедры компьютерных технологий
ГОУ ВПО «Донецкий национальный
университет»,
Российская Федерация, ДНР, г. Донецк.
E-mail: fedchuk_aleksandr@bk.ru

Fedchuk Aleksandr Viktorovich

Master student at Department of Computer
Technologies of Donetsk National University,
Russian Federation, DPR, Donetsk.

Бондаренко Виталий Иванович

кандидат технических наук, доцент, доцент
кафедры компьютерных технологий ГОУ ВПО
«Донецкий национальный университет»,
Российская Федерация, ДНР, г. Донецк.
E-mail: bondarenko@donnu.ru

Bondarenko Vitalii Ivanovich

Candidate of Technical Sciences, Associate
Professor, Associate Professor at Department of
Computer Technologies of Donetsk National
University,
Russian Federation, DPR, Donetsk.

УДК 621.313.333.018

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕЗИТЕРАЦИОННОГО МЕТОДА РАСЧЕТА
КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ
КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ**

© 2022 *Шелехова О.Г.*

Разработан безитерационный метод расчета коэффициента мощности асинхронного двигателя от напряжения прямой последовательности, который может быть использован в автоматизированных системах контроля технического состояния асинхронного двигателя.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, коэффициент мощности асинхронного двигателя, безитерационный метод, отклонение питающего напряжения, автоматизированная система контроля технического состояния.

Введение. В настоящее время асинхронные двигатели (АД) являются наиболее распространенным типом электрических машин, а их эксплуатация зачастую сопровождается отклонением питающего напряжения [1–4].

Актуальность. Коэффициент мощности АД является одним из важнейших энергетических показателей электродвигателя, его оценка имеет важное значение в автоматизированных системах контроля технического состояния АД на этапе их исследования, проектирования, разработки и модернизации [1–5].

Существующие математические методы [2] для определения зависимости коэффициента мощности АД от напряжения прямой последовательности содержат итерационный цикл (для определения скольжения, соответствующего заданному напряжению) и предполагают использование компьютерной техники, что затрудняет их использование при решении задач связанных с рациональным выбором АД, контролем и прогнозированием его технического состояния в автоматизированных системах в условиях нестабильного питающего напряжения.

Предложенный автором в [5] безитерационный метод требует уточнения, так как не учитывает поток рассеяния обмоток статора и ротора, активные потери в стали и т. д. и этот вопрос требует дальнейшего исследования.

Целью данной работы была разработка алгоритма использования безитерационного метода расчета коэффициента мощности в автоматизированных системах контроля технического состояния АД при различных значениях напряжения прямой последовательности.

В [6–9] получена аналитическая зависимость скольжения асинхронного двигателя от напряжения прямой последовательности:

$$s_U \approx \frac{s_H}{U_{np}^* 2}, \quad (1)$$

где $U_{np}^* = \frac{U_{np}}{U_n}$ – относительное значение напряжения прямой последовательности;

s_n, s_U – скольжение АД в номинальном режиме и при отклонении напряжения прямой последовательности соответственно.

Выражение (1) позволяет получить безитерационные зависимости коэффициента мощности АД от напряжения прямой последовательности U_{np} с использованием Т-образной схемы замещения (рис. 1).

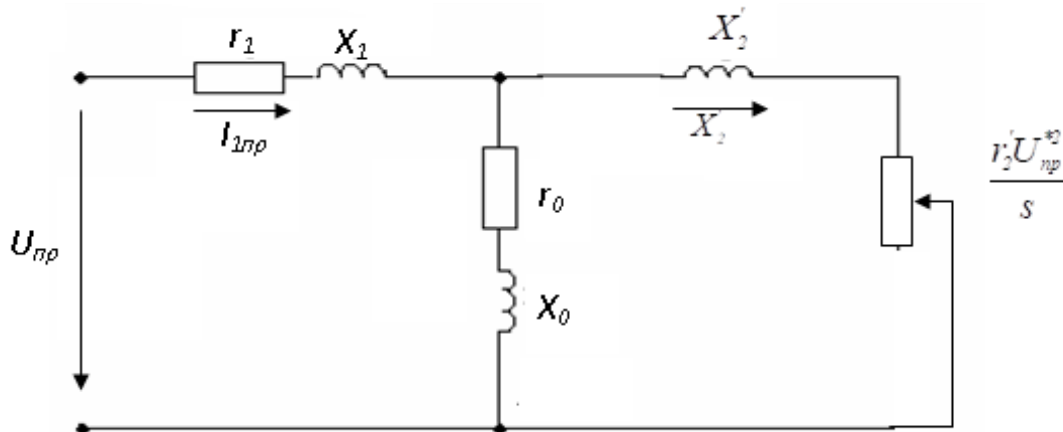


Рис. 1. Т-образная схема замещения

Выразим полное сопротивление цепи с использованием Т-образной схемы замещения (рис. 1), построим треугольник сопротивлений, из которого выразим коэффициент мощности АД.

$$\underline{Z}^* = R_1^* + jX_1^* + \frac{(R_0^* + jX_0^*) \left(\frac{R_2^{*n} U_{np}^{*2}}{s_n} + jX_2^* \right)}{R_0^* + \frac{R_2^{*n} U_{np}^{*2}}{s_n} + j(X_0^* + X_2^*)}; \quad (2)$$

где $X_0^*, R_0^*, X_1^*, X_2^*, R_1^*, R_2^*$ – относительные значения параметров схемы замещения АД. В качестве базового значения сопротивления принято $Z_\sigma = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot I_{1H}}$.

Умножим числитель и знаменатель дроби (2) на комплексно-сопряженное знаменателю выражение:

$$\underline{Z}^* = R_1^* + jX_1^* + \frac{\left(\left(R_0^* \frac{R_2^{*n} U_{np}^{*2}}{s_n} - X_0^* X_2^* \right) + j \left(X_0^* \frac{R_2^{*n} U_{np}^{*2}}{s_n} + jX_2^* \right) \right) \left(\left(\frac{R_2^{*n} U_{np}^{*2}}{s_n} - R_0^* \right) - j(X_0^* + X_2^*) \right)}{\left(R_0^* + \frac{R_2^{*n} U_{np}^{*2}}{s_n} \right)^2 + (X_0^* + X_2^*)^2};$$

$$\underline{Z}^* = R_1^* + \frac{\left(\left(R_0^* \frac{R_2^{*2} U_{np}^{*2}}{s_H} - X_0^* X_2^* \right) \left(\frac{R_2^{*2} U_{np}^{*2}}{s_H} + R_0^* \right) + (X_0^* + X_2^*) \left(X_0^* \frac{R_2^{*2} U_{np}^{*2}}{s_H} + X_2^* R_0^* \right) \right)}{\left(R_0^* + \frac{R_2^{*2} U_{np}^{*2}}{s_H} \right)^2 + (X_0^* + X_2^*)^2} +$$

$$+ j \left[X_1^* + \frac{\left(\left(R_0^* + \frac{R_2^{*2} U_{np}^{*2}}{s_H} \right) \left(X_0^* \frac{R_2^{*2} U_{np}^{*2}}{s_H} + X_2^* R_0^* \right) - (X_0^* + X_2^*) \left(R_0^* \frac{R_2^{*2} U_{np}^{*2}}{s_H} - X_2^* X_0^* \right) \right)}{\left(R_0^* + \frac{R_2^{*2} U_{np}^{*2}}{s_H} \right)^2 + (X_0^* + X_2^*)^2} \right];$$

Выполнив необходимые преобразования выражения (2), получим (3):

$$\underline{Z}^* = R_1^* + \frac{R_0^* \frac{R_2^{*2} U_{np}^{*4}}{s_H^2} + \frac{R_2^{*2} U_{np}^{*2}}{s_H} (X_0^{*2} + R_0^{*2})}{\left(R_0^* + \frac{R_2^{*2} U_{np}^{*2}}{s_H} \right)^2 + (X_0^* + X_2^*)^2} + j \left[X_1^* + \frac{X_0^* \frac{R_2^{*2} U_{np}^{*4}}{s_H^2} + X_2^{*2} X_0^* + X_2^* X_0^{*2}}{\left(R_0^* + \frac{R_2^{*2} U_{np}^{*2}}{s_H} \right)^2 + (X_0^* + X_2^*)^2} \right] = \quad (3)$$

$$= a + jb,$$

где a и b – мнимая и действительная часть соответственно полного сопротивления АД, выраженные через параметры его Т-образной схемы замещения (рис. 2).

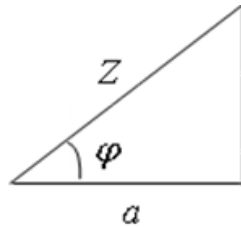


Рис. 2. Треугольник сопротивлений АД

Из треугольника сопротивлений АД (рис. 2) коэффициент мощности электродвигателя равен:

$$\cos \varphi = \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}, \quad (4)$$

где

$$a = \frac{R_0^* \frac{R_2^{*2} U_{np}^{*4}}{s_H^2} + \frac{R_2^{*2} U_{np}^{*2}}{s_H} (X_0^{*2} + R_0^{*2})}{\left(R_0^* + \frac{R_2^{*2} U_{np}^{*2}}{s_H} \right)^2 + (X_0^* + X_2^*)^2}; \quad b = \frac{X_0^* \frac{R_2^{*2} U_{np}^{*4}}{s_H^2} + X_2^{*2} X_0^* + X_2^* X_0^{*2}}{\left(R_0^* + \frac{R_2^{*2} U_{np}^{*2}}{s_H} \right)^2 + (X_0^* + X_2^*)^2}.$$

Определим аналитическое значение напряжения прямой последовательности, при котором коэффициент мощности АД достигает максимума. Для этого исследуем функцию (4) на экстремум:

$$\frac{d(\cos\varphi)}{dU_{np}} = \frac{\left(R_0^* \frac{4R_2^{*2} U_{np}^{*3}}{s_H^2} + \frac{2R_2^{*2} U_{np}^*}{s_H} (X_0^{*2} + R_0^{*2}) \right) \left(\frac{R_2^{*2} U_{np}^{*4}}{s_H^2} + 2R_0^* \frac{R_2^{*2} U_{np}^{*2}}{s_H} (X_0^* + X_2^*)^2 \right)}{\left(\left(R_0^* + \frac{R_2^{*2} U_{np}^{*2}}{s_H} \right)^2 + (X_0^* + X_2^*)^2 \right)^2} -$$

$$\frac{\left(R_0^* \frac{R_2^{*2} U_{np}^{*4}}{s_H^2} + \frac{R_2^{*2} U_{np}^{*2}}{s_H} (X_0^{*2} + R_0^{*2}) \right) \left(\frac{4R_2^{*2} U_{np}^{*3}}{s_H^2} + 4R_0^* \frac{R_2^{*2} U_{np}^*}{s_H} (X_0^* + X_2^*)^2 \right)}{\left(\left(R_0^* + \frac{R_2^{*2} U_{np}^{*2}}{s_H} \right)^2 + (X_0^* + X_2^*)^2 \right)^2}.$$

Приравняем производную $\frac{d(\cos\varphi)}{dU_{np}}$ к нулю и найдем критические точки и после приведения подобных членов, получим:

$$\frac{R_2^{*2} U_{np}^{*4}}{s_H^2} (X_0^{*2} - R_0^{*2}) - 2R_0^* \frac{R_2^{*2} U_{np}^{*2}}{s_H} (X_0^* + X_2^*) - (X_0^{*2} + R_0^{*2})(X_0^* + X_2^*) = 0. \quad (5)$$

Дискриминант уравнения (5):

$$D = 4 \frac{R_2^{*2}}{s_H^2} \left(R_0^{*2} (X_0^* + X_2^*)^2 + (X_0^{*4} - R_0^{*4})(X_0^* + X_2^*) \right).$$

Биквадратное уравнение (5) имеет решение, которое является точкой экстремума функции (4):

$$U_{np \max}^* = \frac{2R_0^* \frac{R_2^{*2}}{s_H} (X_0^* + X_2^*) + 2 \frac{R_2^{*2}}{s_H} \sqrt{\left(R_0^{*2} (X_0^* + X_2^*)^2 + (X_0^{*4} - R_0^{*4})(X_0^* + X_2^*) \right)}}{2 \frac{R_2^{*2}}{s_H} (X_0^{*4} - R_0^{*4})},$$

$$U_{np \max}^* = \frac{s_H}{R_2^{*2}} \frac{R_0^* (X_0^* + X_2^*) + \sqrt{\left(R_0^{*2} (X_0^* + X_2^*)^2 + (X_0^{*4} - R_0^{*4})(X_0^* + X_2^*) \right)}}{(X_0^{*2} - R_0^{*2})}. \quad (6)$$

Из полученного выражения (6) следует, что наибольшее влияние на величину $U_{np \max}^*$ имеют параметры s_H, R_2^{*2}, X_0^* .

Значительный практический интерес при проектировании и эксплуатации АД представляет нахождение аналитического выражения для определения максимума коэффициента мощности в функции напряжения прямой последовательности и параметров его Т-образной схемы замещения ($\cos\varphi_{\max}$).

Подставим (6) в (4) и найдем максимум коэффициента мощности АД при заданном уровне входного напряжения и заданных параметрах АД:

$$\cos\varphi_{\max} = \frac{1}{\sqrt{1+tg^2\varphi}} = \frac{1}{\sqrt{1+\frac{b^2}{a^2}}} = \frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{X_0^* \frac{R_2^{*2} U_{np\max}^{*4}}{s_H^2} + X_0^* X_2^{*2} + X_2^{*2} X_0^{*2}}{R_0^* \frac{R_2^{*2} U_{np\max}^{*4}}{s_H^2} + \frac{R_2^{*2} U_{np\max}^{*4}}{s_H} (X_0^{*2} + R_0^{*2})}\right)^2}}.$$

Выражение (4) может быть использовано, как безитерационный метод расчета коэффициента мощности ($\cos\varphi_{\max}$) в функции напряжения прямой последовательности (U_{np}) при различных параметрах Т-образной схемы замещения.

Выводы. Предложенный безитерационный метод позволяет получить:

1. Зависимости коэффициента мощности АД от напряжения прямой последовательности при различных параметрах Т-образной схемы замещения АД и величины напряжения прямой последовательности.
2. Напряжение прямой последовательности, при котором коэффициент мощности достигает максимума для АД различного типоразмера.
3. Максимума коэффициента мощности в функции напряжения прямой последовательности и параметров его Т-образной схемы замещения ($\cos\varphi_{\max}$).
4. Установлено, что величина не зависит от величины напряжения прямой последовательности $\cos\varphi_{\max}$, а определяется параметрами Т-образной схемы и скольжением АД.
5. Изложенный выше безитерационный метод может быть использован в автоматизированных системах контроля технического состояния АД.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воронин, В. А. О допустимых отклонениях напряжения для асинхронных двигателей / В. А. Воронин // Сборник материалов VIII Всероссийской, научно-практической конференции молодых ученых с международным участием "Россия молодая", Кемерово, 19–22 апреля 2016 года / Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева; Ответственный редактор О.В. Тайлаков. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2016. – С. 327.
2. Проектирование электрических машин / под. ред. И.П. Копылова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2011. – 767 с.
3. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения : межгосударственный стандарт. – М.: Стандартинформ, 2014. – 19 с.
4. Алексеев, Е. Р. MATLAB 7 / Е. Р. Алексеев, О. В. Чеснокова. – М.: ИТ Пресс, 2006. – 404 с.
5. Шелехова, О. Г. Расчет коэффициента мощности асинхронного двигателя при отклонении питающего напряжения безитерационным методом / О. Г. Шелехова // Сборник научных трудов Донецкого института железнодорожного транспорта. – 2022. – № 66. – С. 4-11.
6. Немов, Г. Ю. Энергетические показатели асинхронного двигателя при несимметрии питающего напряжения / Г. Ю. Немов, А. И. Маковский, О. Г. Шелехова // Автоматизация технологических объектов и процессов. Поиск молодых: сборник научных трудов XVI международной научно-технической конференции аспирантов и студентов (25–26 мая 2016 г., г. Донецк). – Донецк: ДонНТУ, 2016. – С. 184–186.
7. Шелехова, О. Г. Определение зависимости тока статора от напряжения прямой последовательности при различных параметрах его схемы замещения / О. Г. Шелехова // Завалишинские чтения 16 : сборник докладов, Санкт-Петербург, 11–15 апреля 2016 года / Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2016. – С. 284-291. – EDN WZFTHV.

8. Шелехова, О. Г. Функциональная зависимость токов асинхронного двигателя от напряжения прямой последовательности, полученная безитерационным методом / О. Г. Шелехова // Проблемы повышения эффективности электромеханических преобразователей в электроэнергетических системах : материалы международной научно-технической конференции, Севастополь, 15–19 сентября 2015 года. – Севастополь: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Севастопольский государственный университет", 2015. – С. 62-63.
9. Шелехова, О. Г. Скольжение асинхронного двигателя при различных параметрах несимметрии напряжения питания / О. Г. Шелехова // Научный Вестник Донбасской государственной машиностроительной академии. – 2013. – № 2 (12Е). – С. 217–222.

Поступила в редакцию 31.10.2022 г., рекомендована к печати 16.11.2022 г.

**THE USE OF A NON-ITERATIVE METHOD FOR CALCULATING THE POWER FACTOR IN
AUTOMATED SYSTEMS FOR MONITORING THE TECHNICAL CONDITION OF AN
ASYNCHRONOUS MOTOR**

SHelekhova O.G.

A non-iteration method for calculating the power factor of an induction motor from positive sequence voltage has been developed.

Keywords: asynchronous motor, power factor of an asynchronous motor, non-iterative method, supply voltage deviation, automated technical condition monitoring system.

Шелехова Ольга Георгиевна

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры радиофизики и инфокоммуникационных технологий ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»,
Российская Федерация, ДНР, г. Донецк.
E-mail: jinjaistorik@mail.ru

SHelekhova Olga Georgievna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at Department of Radiophysics and Infocommunication Technologies of Donetsk National University,
Russian Federation, DPR, Donetsk.

ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

УДК 628.192

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЙ СПОСОБ ДООЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД НЕФТЕБАЗЫ

© 2022 Хуррамов М.Г.

В статье предлагается ресурсосберегающий способ доочистки стоков нефтебазы с использованием существующие по проекту внутренних сток отводных коллекторов. В процессы доочистки используется фильтр устройства. При этом степень доочистки достигается снижение концентрации взвешенных частиц на 92-95% и БПК₅ на 30-35%. Способ предотвращает засорение канализационных сетей, способствует более стабильной работе последующих очистных сооружений и упрощает их эксплуатацию.

Ключевые слова: доочистка, нефтесодержащие сточные воды, взвешенные вещества, фильтр устройства, барьер, сток отводные канализационные лотки.

Введение. Большинство предприятий, в том числе нефтебазы направляют стоков на городские канализационные станции механической и биологической очистка, которые не будет обеспечиваться необходимая степень очистки из-за разнородности присутствующих в сточных водах много сильнозагрязненных [1-5].

Проблемы предотвращения загрязнения водных источников нефтепродуктами, могут быть решены созданием стадия доочистки выделения взвешенных примесей [6].

Постановка задачи. Целью нашего исследования является разработка способов доочистки для выделения взвешенных примесей из стоков нефтебазы, с использованием существующие по территории сток отводных коллекторов.

Экспериментальные методы. Методика исследований базируется на комплексном подходе, включающем изучение литературных источников, математические методы обработки результатов, технико-экономический анализ. Лабораторные исследования с использованием физико-химических методов анализа. Измерения проведены в соответствии с нормативно-технической документацией.

Результаты и обсуждение. Для испытания способа в качестве базового объекта был выбран открытый сток отводной канализационный коллектор Китабской нефтебазы (Кашкадарьинский области). Параметры коллектора составляет: общая длина 200м; ширина 550мм; глубина 500мм и имеет уклон 0,005 к выпуску. Количество сточных вод базы до 27м³/сутки. В таблице 1 представлен состав, сбрасываемый сточных вод Китабской нефтебазы.

Таблица 1. Состав сточных вод Китабской нефтебазы

Определяемые показатели	Результаты исследований
Водородный показатель	7,8±0,1 единиц рН
Взвешенные вещества	12100-12500 мг/дм ³
Сухой остаток	840±60,0 мг/дм ³
БПК ₅	460±36,0 мгО ₂ /дм ³

Анализ состава показал, что тонкодисперсные взвешенные вещества и нефтепродукты от промывки представляют собой сложную гетерогенную полидисперсную систему в виде трудно осаждаемые пленки, на поверхности стока образуя устойчивые эмульсии техногенного характера.

В процессы доочистки использовали полученный фильтрующий материал на основе биополимерных плодов растений из рода люффа (*Luffa*), семейства тыквенные (*Cucurbitaceae*), люффа цилиндрическая (*Luffa aegyptiaca*) [7].

Активацию поверхности фильтрующего материала проводили с раствором диатомита из Гиссарский гора. Химический состав которых варьирует, масс. доля %: SiO_2 -85,0-88,0; Al_2O_3 -3,5-4; Fe_2O_3 -1,5-2,0; MgO -0,6-0,7; CaO -0,4-0,5; $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ -1,2-3,4; TiO_2 -0,2-0,23. На рисунке 1 показано исходное сырьё, для изготовления фильтрующих материалов.



Рис. 1. Исходное сырьё для изготовления фильтрующих материалов

Фильтровальные материалы должны обладать рядом положительных свойств: обеспечивать эффективную очистку, обладать необходимой сорбционной емкостью, разрывная нагрузка, невысокой стоимостью, стойкость к определенным химическим веществам и высокой температуре. Поэтому на основе стандартных методов измерения определены химический состав и свойства фильтровального материала (табл. 2).

Таблица 2. Химический состав и свойства фильтрующего материала

№	Наименование показателя	Единица измерения	Количество	
1	Химический состав волокна	целлюлоза	%	до 77,0
		лигнин	%	9,0 - 11,0
		гемицеллюлоза	%	3,0 - 4,0
		пектин	%	0,9 - 1,0
		воски	%	0,7 - 0,9
		вода	%	до 6,0
2	Вес	г/м ²	345	
3	Толщина одного слоя	мм	3	
4	Диаметр волокна	мкм	50	
5	Плотность упаковки	%	12	
6	Прочность при разрыве сухого	сН/текс	36 - 40	
7	Прочность при разрыве мокрого	сН/текс	40 - 46	
8	Общее удлинения сухого	%	5 - 6	
9	Общее удлинения мокрого	%	7-8	
10	Количество удерживаемой влаги после отжима	%	95 - 96	
11	Сорбционная емкость (100 г/м ²)	г/г	500	
12	Термостойкость	°С	170	

К основным эксплуатационным характеристикам относятся сток поглощение, по данным таблицы 2 видно, что наличие целлюлоза, гемицеллюлоза и лигнина в составе фильтрующего материала обеспечивает высокая сток связывающая и удерживающая способность. Элементарное звено макромолекулы целлюлозы находится энергетически более активной, в которых гидроксильные и гидроксиметильная группы располагаются приблизительно в плоскости, образуемой вторым, третьим и пятым атомами углерода и атомом кислорода. Благодаря такому положению гидроксильной группы обладают высокой реакционной способностью в различных химических реакциях.

В сточных водах нефтепродукты могут находиться в свободном, связанном и растворенном состояниях наличие гидроксильной группы способствует удаление их. Содержание в составе фильтрующего материала высокомолекулярного лигнина способствует формированию водопроводящих каналов. Следует также отметить, что каждый сосудистый пучок окружен кольцами волокон, составляющих волокнистый скелет образующий сеть своеобразной арматуры. Каждое волокно содержит в своей толще большое количество пор и канальцев. Пучки - это участки с высокой плотностью упаковки волокон, между ними расположены участки с низкой плотностью упаковки, это способствует процесс фильтрации.

Присутствие первичных и вторичных гидроксильных групп, карбонильные и карбоксильных соединений обуславливает физико-химические свойства фильтрующего материала.

В составе фильтрующего материала наличие нерастворимого биополимера лигнина существенную роль играет, повышаются устойчивость к щелочам и кислотам. Также повышает механические свойства фильтрующего материала, который характеризуются их способность, сопротивляются действие приложенных к ним механических усилий. Материал фильтра обладает бактерицидными свойствами и не содержит белок, поэтому не привлекает насекомых и грызунов.

Среди физико-химических характеристик этого грубо волокнистых фильтрующего материала необходимо, прежде всего, выделить ионообменные и высокой сорбционной свойства. Высокая сорбционная способность фильтрующего материала является одним из важнейших их свойств. Благодаря этому свойству волокна фильтра могут связывать на своей поверхности не только молекулы воды, но и более другим загрязнителями и способен поглощать значительно больший, чем собственный вес, отличаются низким начальным сопротивлением.

Наличие пектина в составе фильтрующего материала обеспечивает образование соли тяжёлых металлов за счет свободных карбоксильных групп. Могут, сорбционная способность элементов убывает в рядах слева направо: свинец > медь > барий > стронций > кальций > кадмий > кобальт > никель и др.

Суммарный сорбционный потенциал фильтра обусловлено целым рядом факторов:

- большими линейными размерами макромолекул волокон;
- наличием на поверхности макромолекул волокон различных функциональных групп.

Наличие большинства функциональных групп, например, метильных, ацетильных или карбоксиметильных, придает поверхности фильтра отрицательный заряд, что делает его эффективным катионообменником, способным связывать положительно заряженные ионы. В то же время другие функциональные группы, например, гидроксильные могут нести положительный заряд и связывать отрицательно заряженные ионы - анионы.

Наличие пектина и воска способствует гибкости, эластичности, сохранение форма устойчивости и устойчивостью многократному изгибу фильтрующего материала.

Проведенные исследования показали, что при нагревании фильтрующего материала до 170°C заметных последствий не наблюдается, при более высокой температуре происходит разрушение волокна. Высокой теплостойкости фильтрующего материала, чем других натуральных волокон обуславливаются диаметром волокна и одного толщиной слоя.

На основе проведенных экспериментальных исследований, были изготовлены, опытные устройства для способа. Габариты фильтрующего устройства выполняется с учетом габаритного размера сток отводных коллекторов, чтобы фильтрующее устройство плотно поместился внутрь. Устройство выполнено из коррозионностойкого материала -12X18Н10Тс. Фильтрующий материал упаковывают между металлических сеток, которые параллельно закреплены и прикрепляется при помощи проволоки на ячейках металлически сеток с возможностью замены или регенерации. В одном устройстве толщина фильтрующего элемента можно увеличить с 3,0мм до 18,0мм. В таблице 3 приведено техническая характеристика фильтрующей устройства.

Таблица 3. Техническая характеристика фильтрующего устройства

Определяемые показатели	Результаты исследований
Масса устройства без фильтра	1,4 кг
Высота устройства	350 мм
Поверхностная верхняя ширина устройства	470 мм
Поверхностная нижняя ширина устройства	300 мм
Толщина устройства	60 мм

Процесс выделение взвешенных примесей из стоков проводили методом фильтрации при помощи неподвижного устройства со скоростью 0,2-0,5см/с. При этом толщина фильтрующего материала составил 3,0 мм, объем 0,5 м², поверхностную плотность 345г/м² (рис. 2).



Рис. 2. Процесс фильтрации

С увеличением количество уставляемый барьер из фильтрующего устройства эффективность возрастает, которая зависит преимущественно от удельной площади поверхности фильтрующего материала. Фильтрующее устройство последовательно и вертикально устанавливается во внутри сток отводных коллекторов по направлению потока в переде канализационных колодцев на территории нефтебазы.

Для расчета необходимо определить следующих технологических параметров способа. Требуемый общий площадь поверхности фильтрующего материала в устройствах, м² определяются по формуле (1):

$$F = \frac{Q_c}{fn}, \quad (1)$$

где Q_c – общий объем задерживаемых примесей, м³/сутки.

f – удельная площадь поверхности однослойного фильтрующего материала в один устройстве, м²

n – общий количество требуемых устройств для доочистки, штук

Одним из важных определяющих факторов, применения способа для доочистки сточных вод нефтебазы является взвешенные вещества. Взвешенные вещества стока также являются основной расчетной величиной количество уставляемого барьерного фильтрующего устройства в сток отводных коллекторов. В процессе доочистки также учитываются режим сброса стоков нефтебазы, который характеризуется коэффициентов часовой неравномерности.

Расчет эффективности доочистки сточных вод от взвешенных веществ определяются по формуле (2):

$$\mathcal{E} = \frac{C_n - C_k}{C_n} \cdot 100, \quad (2)$$

где C_n – начальная концентрация взвешенных веществ, в стоке;

C_k – конечная концентрация взвешенных веществ в очищенной стоке.

Для сравнительной оценки эффективности доочистки используются требования показатели качества очищенных вод санитарно-техническим нормам, для повторного использования с технической целью промышленностью [5, 8, 9].

Выводы. Исследования, проведенные на производственных условиях показали, что фильтрующее устройство позволяет практически 92-95% извлекать из стоков взвешенных примесей, при этом БПК снижаются на 30-35%. Полученный фильтрующий материал позволит отказаться от дефицитных токсичных материалов, возможность утилизации. Отличаются лучшими эксплуатационными характеристиками, может заменить импортные аналоги и решить задачу ресурсосбережения. Данный способ обеспечивает дополнительное использование существующие стоки отводных канализационных коллекторов нефтебазы на стадии доочистки без затраты и способствует более стабильной работе последующих сооружений, а также упрощает их эксплуатацию, помогает решению проблемы охраны поверхностных водных источников, прост в аппаратном оформлении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Очистка водных сред от органических и неорганических соединений углерод-минеральным сорбентом из тростника южного / Н. М. Алыков, Н. В. Золотарева, Е. М. Евсина, А. Е. Кудряшова // Успехи современного естествознания. – 2017. – №4. – С.54-59.
2. Другов, Ю. С. Анализ загрязненной воды: практич. рук-во / Ю. С. Другов, А.А. Родин. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. – 678 с.
3. Новые фильтрующие материалы на основе минеральных волокон и биополимерного комплекса / Н. А. Вальчук, О. С. Бровко, И. А. Паламарчук [и др.] // Биотехнологии в химико-лесном комплексе : материалы международной научной конференции, Архангельск, 11–12 сентября 2014 года / составитель: Е.В. Новожилов. – Архангельск: Северный (Арктический) федеральный университет, 2014. – С. 95-99.
4. Полимерные волокнисто-пористые фильтрующие материалы / А. Г. Кравцов, С. А. Марченко, С. В. Зотов, В. М. Станкевич [и др.]. – Гомель: БелГУТ, 2012. – 319 с.
5. Москвичева, Е. В. Сорбционная очистка сточных вод от нефтепродуктов / Е. В. Москвичева, А. В. Москвичева, А. В. Жуховицкий // Качество внутреннего воздуха и окружающей среды : материалы XI Международной научной конференции, Ханой, 23 марта – 05 апреля 2013 года. – Ханой: Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет, 2013. – С. 35-42.
6. Пономарев, В. Г. Выбор сооружений для очистки сточных вод от взвешенных загрязнений / В. Г. Пономарев // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. – 2015. – № 1. – С. 45-52.
7. Патент на полезную модель № FAP 01314. UZ. Республика Узбекистан. Устройство для очистки сточных вод волокнистыми и грубодисперсными примесями / М. Г. Хуррамов, Д. М. Хуррамова, С. М. Хуррамова, Р. М. Шайназаров; заявитель и патентообладатель «Каршинский государственный университет». – Заявл. 22.06.15. – Оpubл. 06.07. 2018.
8. СП 32.13330.2012. Канализация. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.03–85. – Введ. 01.01.2013. – М.: Минрегион России, 2012. – 93 с.
9. Феофанов, Ю. А. Оценка эффективности использования различных сорбционных материалов для очистки нефтесодержащих вод / Ю. А. Феофанов // Вода Magazine. – 2017. – №5 (117). – С. 42-46.

Поступила в редакцию 28.10.2022 г., рекомендована к печати 10.11.2022 г.

RESOURCE-SAVING METHOD OF POST-TREATMENT OF SEWAGE TANK FARM

KHurramov M.G.

The article proposes a resource-saving method for post-treatment of wastewater from an oil depot using the internal drain collectors existing under the project. The filter device is used, the structure is simple, convenient for quick installation, and the filter element can be easily replaced. As a filter element, biopolymer fruits of the luffa plant are used. We used standard methods for chemical analysis of wastewater and measurement of the physical and mechanical characteristics of the filter material. At the same time, the degree of post-treatment is achieved by reducing the concentration of suspended particles 92-95% and the biological need of oxygen by 30-35%. The method prevents clogging of sewer networks, contributes to more stable operation of subsequent treatment facilities and simplifies their operation.

Keywords: post treatment, oily wastewater, suspended, solids, device filter, barrier, runoff sewer drain trays.

Хуррамов Мухтор Гулович

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры
технологического образования Каршинского
государственного университета,
Узбекистан, г. Карши.
E-mail: хуррамова 2011@mail.ru

KHurramov Mukhtor Gulovich

Candidate of Technical Sciences, Associate
Professor, Associate Professor at Department of
Technological education of Karshi State
University,
Uzbekistan, Karshi.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

1. Редакция журнала «Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки» принимает к рассмотрению на предмет опубликования в журнале ранее не опубликованные и не представленные для одновременной публикации в других изданиях научные статьи по тематике журнала.
2. Авторы статей несут персональную ответственность за наличие элементов плагиата в текстах статей, за полноту и достоверность изложенных фактов и положений, за факт их публикации. Допускается публикация не более двух статей от одного автора в одном номере и наличие не более пяти авторов одной статьи. Один из авторов должен иметь ученую степень. Гонорар не выплачивается и плата за публикацию статей не взимается.
3. Авторами представляется рукопись статьи в одном экземпляре (на русском или английском языке), напечатанном с одной стороны листа бумаги формата А4 (экземпляр подписывается авторами). Страницы рукописи должны быть последовательно пронумерованы. Объем рукописи, как правило, от 5 до 15 страниц (для обзорной статьи – до 25), включая рисунки, таблицы, список литературы, сведения об авторах. Вместе с рукописью на адрес электронной почты vestnik.donnu.g@donnu.ru высылается электронный вариант с полным текстом статьи в формате doc или docx. При отсутствии возможности предоставления в редколлегию рукописи, на электронную почту редакции высылается полный текст статьи в формате pdf. Статьи, не соответствующие Правилам для авторов или тематике журнала, к рассмотрению не принимаются. Все статьи, принятые к рассмотрению, подвергаются рецензированию и в случае положительной рецензии – научному и техническому редактированию.
4. Решение о публикации, публикации после доработки/переработки или отклонении статьи принимается редакционной коллегией журнала. Если статья рекомендуется к публикации после небольшой авторской доработки, редакция направляет авторам статьи замечания (без указания рецензента). Статья, направленная авторам на доработку, должна быть возвращена в исправленном виде в максимально короткий срок. К доработанной статье необходимо предоставить письмо от авторов, содержащее ответы на все замечания и поясняющие все изменения, сделанные в статье. В случае отклонения статьи редакция направляет авторам рецензию (без указания рецензента) или выдержки из нее, либо аргументированное письмо редактора. Редакция не вступает в дискуссию с авторами отклоненных статей, за исключением случаев явного недоразумения.
5. Обязательные требования к оформлению статей:
 - **Размер бумаги:** А4.
 - **Ориентация:** книжная.
 - **Поля:** зеркальные, верхнее – 30 мм, нижнее – 30 мм, внутри – 30 мм, снаружи – 20 мм.
 - **Положение верхнего и нижнего колонтитула относительно края:** 2 см.
 - **Междустрочный интервал:** одинарный.
 - **Абзацный отступ:** 1 см.
 - **Основной текст статьи:** шрифт Times New Roman, размер 12 пт., с выравниванием по ширине, без автоматической расстановки переносов.
 - **Аннотация, список литературы, сведения об авторах:** шрифт Times New Roman, размер 10 пт., с выравниванием по ширине, без автоматической расстановки переносов.
 - **Подписи, заглавие и содержание таблиц:** шрифт Times New Roman, размер 10 пт., с выравниванием по центру, без автоматической расстановки переносов.

6. Текст статьи должен соответствовать следующей структурной схеме:

- **Первая строка:** индекс УДК – выравнивание по левому краю, без абзацного отступа.
- **Через строку:** **НАЗВАНИЕ** статьи – полужирный, выравнивание по центру, прописными буквами, без переноса слов, без абзацного отступа.
- **Через строку:** копирайт © и год – полужирный, выравнивание по левому краю, без точки после года, через 3 пробела *фамилия(и) и инициалы автора(ов)* – полужирный, курсив, выравнивание по левому краю, без абзацного отступа.
- **Через две строки:** аннотация объемом до 100 слов, кратко отражающая предмет статьи, примененные методы исследований и основные результаты, полученные авторами.
- **На следующей строке:** словосочетание *Ключевые слова:* – полужирный, курсив. Далее приводятся ключевые слова количеством до 10 слов, отделяемых друг от друга запятой. Блок аннотация и ключевые слова рекомендуется отделять от основного текста с помощью инструмента «Границы».
- **Через две строки:** основной текст статьи, который содержит введение, основную часть и выводы. Во **введении** рекомендуется излагать постановку проблемы в общем виде и связь с важнейшими научными и практическими задачами, анализ последних исследований и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и на которые опирается автор, выделение нерешенных ранее частей общей проблемы, которым посвящена статья, формулировку целей статьи. В **основной части** рекомендуется излагать основные материалы исследования с полным обоснованием полученных научных результатов. Основную часть рекомендуется структурировать на разделы с названиями, отражающими их содержание (например: постановка задачи; методы ее решения; анализ полученных результатов). В **выводах** рекомендуется кратко и четко подводить итоги основных результатов, полученных авторами и описывать перспективы дальнейших исследований в данном направлении.
- **Через строку:** словосочетание **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ** размером 10 пт., полужирный, выравнивание по левому краю, прописными буквами, без абзацного отступа. Далее через строку с абзацным выступом 0,5 см приводится нумерованный перечень используемых литературных источников общим списком в порядке упоминания в тексте на языке оригинала в соответствии с ГОСТ Р 7.0.100–2018 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления». Ссылка на источник приводится в квадратных скобках. Разрешается ссылаться только на опубликованные работы. Необходимо включение в список литературы источников последних 5-10 лет по исследуемому вопросу.
- **Через строку:** надпись «*Поступила в редакцию xx.xx.20xx г., рекомендована к печати xx.xx.20xx г.*» размером 10 пт., курсив, выравнивание по правому краю.
- **Через строку:** приводится **НАЗВАНИЕ** статьи, *фамилия(и) и инициалы автора(ов)*, аннотация и ключевые слова (**Keywords**) на английском языке (перевод) размером 10 пт.
- **Через строку:** сведения об авторах размером 10 пт., в таблице с параметром «Нет границ», содержащей два столбца (для сведений на русском и английском языках):
 - **Фамилия, имя, отчество;**
 - ученая степень, ученое звание, должность, с указанием организации (в соответствии с уставом), которую представляет автор;
 - страна, город;
 - адрес электронной почты.

7. Образец оформления статьи:

УДК 621.377.037.3:004.67

МЕТОД РАСШИРЕННОГО ЛИНГВИСТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ СПЕКТРОГРАММ РАДИОЧАСТОТ FM-ДИАПАЗОНА

© 2022 Третьяков И.А., Данилов В.В.

В настоящей работе проведено расширение функциональности разработанной ранее автоматизированной системы научных исследований. Предлагается метод более расширенного лингвистического описания спектрограмм радиочастот, позволяющий составлять эти описания с учетом местоположения участков кривой на оси абсцисс.

Ключевые слова: спектрограммы радиочастот, лингвистический анализ, анализ данных.

Введение. В современном мире развивается научное направление [1-3] ...

Постановка задачи. Представляется важным выявление [4] ...

Метод расширенного лингвистического описания. Для составления такого ...

Выводы. Полученные расширенные лингвистические описания дают ...

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юрьев, Д. Р. Сравнительный анализ двухфакторной аутентификации / Д. Р. Юрьев, О. С. Рогова // Технические науки – от теории к практике. – 2017. – № 6 (66). – С. 46–51.
2. Защита сервера от DDos-атак. – URL: <https://itelon.ru/blog/zashchita-servera-ot-ddos-atak/> (дата обращения: 20.03.2022). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.

Поступила в редакцию xx.xx.2022 г., рекомендована к печати xx.xx.2022 г.

METHOD OF EXTENDED LINGUISTIC DESCRIPTION OF FM RADIO FREQUENCY SPECTROGRAMS

Tretiakov I.A., Danilov V.V.

In this paper, the functionality of the previously developed automated system of scientific research is expanded. A method of a more extended linguistic description of radio frequency spectrograms is proposed, which makes it possible to compile these descriptions taking into account the location of the curve sections on the abscissa axis.

Keywords: radio frequency spectrograms, linguistic analysis, data analysis.

Третьяков Игорь Александрович

кандидат технических наук, заместитель декана по научной работе, доцент кафедры радиофизики и инфокоммуникационных технологий ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», Российская Федерация, ДНР, г. Донецк.
E-mail: i.tretiakov@mail.ru

Tretiakov Igor Aleksandrovich

Candidate of Technical Sciences, Deputy Dean for Research, Associate Professor at Department of Radiophysics and Infocommunication Technologies of Donetsk National University, Russian Federation, DPR, Donetsk.

Данилов Владимир Васильевич

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой радиофизики и инфокоммуникационных технологий ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», Российская Федерация, ДНР, г. Донецк.
E-mail: ut5iv@mail.ru

Danilov Vladimir Vasilevich

Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Head of the Department of Radiophysics and Infocommunication Technologies of Donetsk National University, Russian Federation, DPR, Donetsk.

8. Рисунки и таблицы располагаются по тексту строго в пределах печатного поля книжной ориентации страниц после их первого упоминания в тексте статьи. Вся текстовая информация на рисунках должна быть четкой и разборчивой и не иметь лишних деталей. Каждый рисунок должен иметь подрисуночную подпись (не совмещенную с рисунком) в формате: «Рис. №. Название». Каждая таблица должна иметь заглавие в формате: «Таблица №. Название». Во избежание смещений рисунков рекомендуется размещать их в таблицах с двумя строками с параметром «Нет границ» (в первой строке размещается рисунок, во второй - подрисуночная подпись). Все рисунки и таблицы должны быть последовательно пронумерованы арабскими цифрами, допускается применение букв при нумерации рисунков, состоящих из нескольких частей. Сканированные рисунки не допускаются. Образец оформления рисунка и таблицы:

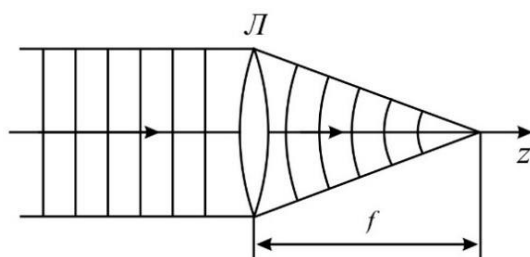


Рис. 1. Действие линзы на плоскую волну

Таблица 1. Номиналы элементов схемы УМ класса F₃

Элемент	Номинал	Единица измерения
C _{out}	25	пФ
C ₁	10	нФ
C ₂	100	мкФ
L ₁	150	мкГн
L ₂	460	нГн
L ₃	765	нГн
R ₁	0,39	МОм

9. Формулы выравниваются по центру и имеют, при необходимости, сквозную нумерацию по правому краю. Для выравнивания формул рекомендуется использовать таблицы с параметром «Нет границ». После формул ставится тот знак препинания, который необходим исходя из построения фразы. Нумеровать следует только те формулы, на которые имеются ссылки в тексте. Ссылки на формулы приводятся в круглых скобках. Каждая формула отделяется от основного текста интервалом в 6 пт. перед и после. Формулы, их компоненты и все переменные в тексте и отдельно в строках набираются только с помощью редакторов формул Microsoft Equation 3.0 или MathType 5.0 и выше с параметрами:

- **текст и переменная:** наклонный;
- **матрица-вектор:** полужирный наклонный;
- **размер:** обычный - 12 пт., крупный индекс - 9 пт., мелкий индекс - 7 пт., крупный символ - 18 пт., мелкий символ - 12 пт.

Образец оформления формулы:

$$y_t = c_0 + \sum_{i=1}^n c_i y_{t-i} + b \xi_t \quad (1)$$

10. Материалы предоставляются по адресу:

283001, Российская Федерация, Донецкая Народная Республика, г. Донецк, пр. Театральный, д. 13, Физико-технический факультет.

Главный редактор: Данилов Владимир Васильевич, каб. 203.

Зам. главного редактора: Третьяков Игорь Александрович, каб. 210.

Ответственный секретарь: Пометун Екатерина Дмитриевна, каб. 001.

Контактный тел.: +7 (856) 302 07 81

E-mail: vestnik.donnu.g@donnu.ru

Научное издание

**Вестник Донецкого национального университета.
Серия Г: Технические науки**

– 2022. – № 4.

Технические редакторы: И.А. Третьяков, Е.Д. Пометун

Адрес редакции:

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»,
283001, Российская Федерация, ДНР, г. Донецк, ул. Университетская, д. 24

Тел.: +7 (856) 302 07 81

E-mail: vestnik.donnu.g@donnu.ru

URL: <http://donnu.ru/vestnikG>

Подписано в печать 30.12.2022 г. Напечатано

Формат 60×84/8. Бумага офсетная.

Печать – цифровая. Усл. печ. л. 7,1.

Тираж 100 экз. Заказ. №

Издательство ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»
283001, Российская Федерация, ДНР, г. Донецк, ул. Университетская, д. 24.

Тел.: +7 (856) 302 92 27.

Свидетельство о внесении субъекта издательской деятельности
в Государственный реестр
серия ДК № 1854 от 24.06.2004 г.