

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

Вестник Донецкого национального университета



НАУЧНЫЙ
ЖУРНАЛ

*Основан
в 1997 году*

**Серия Г
Технические
науки**

4/2020

Редакционная коллегия журнала

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

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

Зам. главного редактора – д-р техн. наук, ст. науч. сотр. **А.П. Симоненко.**

Ответственный секретарь – **И.А. Третьяков.**

Члены редколлегии: канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр. **П.В. Асланов;** д-р техн. наук, доц. **Н.И. Болонов;** д-р техн. наук, проф. **С.А. Горожанкин;** канд. техн. наук, доц. **В.Д. Коренев;** канд. техн. наук, ст. науч. сотр. **А.А. Курушин** (Национальный исследовательский университет «МЭИ», Российская Федерация); канд. техн. наук, доц. **И.А. Молоковский;** канд. техн. наук, доц. **В.В. Паслён;** канд. физ.-мат. наук, доц. **В.И. Тимченко;** канд. техн. наук **Т.В. Ермоленко;** канд. техн. наук, доц. **Т.В. Завадская;** д-р техн. наук, доц. **С.А. Зори;** 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. Башевая;** д-р техн. наук, проф. **С.В. Борщевский;** д-р техн. наук, проф. **С.П. Высоцкий;** 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 science”

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

The Deputy of the Editor-in-Chief – Dr. of tech., senior researcher **A.P. Simonenko.**

Assistant Editor – **I.A. Tretiakov.**

The Members of the Editorial Board: Cand. of phys. and math., senior researcher **P.V. Aslanov;** Dr. of tech., docent **N.I. Bolonov;** Dr. of tech., prof. **S.A. Gorozhankin;** Cand. of tech., docent **V.D. Korenev;** Cand. of tech., senior researcher **A.A. Kurushin** (National Research University "Moscow Power Engineering Institute", Russian Federation); Cand. of tech., docent **I.A. Molokovskii;** Cand. of tech., docent **V.V. Paslyon;** Cand. of phys. and math., docent **V.I. Timchenko;** Cand. of tech. **T.V. Ermolenko;** Cand. of tech., docent **T.V. Zavadskaiia;** Dr. of tech., docent **S.A. Zori;** Dr. of tech., prof. **M.N. Cheptsov;** 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. Safyants;** Dr. of phys. and math., Dr. of tech., prof. **V.K. Tolstikh;** 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. **S.P. Vysotskii;** 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», 283001, ДНР, г. Донецк, ул. Университетская, д. 24

Тел.: +38 (062) 302 07 81, +38 (062) 302 92 88

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**) (Приказ МОН ДНР №440 от 06.03.2020 г.) по следующим группам научных специальностей: **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.

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/titles.asp?sortorder=0&titlename=2663-4228>

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 №10 от 25.12.2020 г.*

Вестник Донецкого национального университета

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

ОСНОВАН В 1997 ГОДУ

Номер посвящён 55-летию
кафедры РФ и ИКТ и кафедры
ФНПМЭ им. И.Л. Повха

Серия Г: Технические науки

№ 4

Донецк 2020

СОДЕРЖАНИЕ

Вступительное слово	3
ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ	
<i>Карповский А.Ю., Кузнецов Д.Н.</i> Расчет светоэнергетических характеристик излучателя однолучевого флуориметра	4
РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ	
<i>Бабичева М.В., Поздняков А.А.</i> Алгоритм аутентификации пользователя с созданием безопасного канала передачи данных в коммуникационных системах на основе протокола UDP	12
<i>Тимченко В.И., Сорока В.А., Ступак В.А., Третьяков И.А., Данилов В.В.</i> Определение параметров упругой среды при ударном воздействии	18
ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ	
<i>Рушечников Я.И., Данилов В.В., Борщевский С.В.</i> Информационная технология автоматизированной локализации источника излучения	26
<i>Волуева О.С.</i> Синтез статического компенсатора для системы автоматического управления уровнем металла в кристаллизаторе МНЛЗ	35
<i>Кислянский Г.Н., Нестругина Е.С.</i> Восстановление расфокусированных и смазанных изображений	41
ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА	
<i>Кухарев А.Л., Белоусов В.В., Недопёкин Ф.В.</i> Шестиэлектродная дуговая печь постоянного тока	54
<i>Беззуб А.А., Недопёкин Ф.В.</i> Исследование износа футеровочного слоя стенки агрегата ковш-печь	62
<i>Сафьянц С.М., Патана Ю.Р., Гридин С.В.</i> Определение необходимой толщины теплоизоляционного слоя	68
ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА И ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА	
<i>Симоненко А.П., Золотарёва И.А., Ключко Н.Ю.</i> Повышение эффективности очистки дизельных масел М14В ₂ путём применения рециркуляции коагуляционного осадка	73
55-летию кафедры радиофизики и инфокоммуникационных технологий	78
55-летию кафедры физики неравновесных процессов, метрологии и экологии им. И.Л. Повха	86
Правила для авторов	92

Bulletin of Donetsk National University

SCIENTIFIC JOURNAL

FOUNDED IN 1997

Number dedicated to the 55th anniversary of the Department RP and IT and Department of the PNPME named I.L. Povkh

Series G: Technical science

No 4

Donetsk 2020

CONTENTS

Opening remark	3
----------------	---

INSTRUMENT ENGINEERING, METROLOGY AND INFORMATION-MEASURING INSTRUMENTS AND SYSTEMS

<i>Karpovskii A.Iu., Kuznetsov D.N.</i> Mathematical determination of light-energy characteristics of a single-beam fluorometer	4
---	---

RADIO ENGINEERING AND COMMUNICATION

<i>Babicheva M.V., Pozdniakov A.A.</i> Authentication algorithm with secure transmission channel creation within communication systems based on UDP protocol	12
<i>Timchenko V.I., Soroka V.A., Stupak V.A., Tretiakov I.A., Danilov V.V.</i> Determination of parameters of an elastic medium under impact	18

COMPUTER SCIENCE AND COMPUTER FACILITIES AND MANAGEMENT

<i>Rushechnikov Ia.I., Danilov V.V., Borshchevskii S.V.</i> Information technology of automated localization of the radiation source	26
<i>Volueva O.S.</i> Synthesis of static compensator for mold level control system of CCM	35
<i>Kislyansky G.N., Nestrugina E.S.</i> Restoring defocused and blurred images	41

INDUSTRIAL HEAT AND POWER ENGINEERING

<i>Kukharev A.L., <u>Belousov V.V.</u>, <u>Nedopekin F.V.</u></i> Six-electrode DC arc furnace	54
<i>Bezzub A.A., <u>Nedopekin F.V.</u></i> Research of wear of the lining layer of the wall of the ladle-furnance	62
<i>Safiants S.M., Patana Iu.R., Gridin S.V.</i> Determination of the necessary thickness of heat insulation layer	68

ECOLOGICAL SAFETY OF CONSTRUCTION AND URBAN SERVICES

<i>Simonenko A.P., Zolotareva I.A., Klyuchko N.Iu.</i> The increasing efficiency of cleaning diesel oils M14B ₂ by using recirculation of coagulation sediment	73
---	----

55th anniversary of the Department of Radiophysics and Infocommunication Technologies	78
55th anniversary of the Department of Physics of Nonequilibrium Processes, Metrology and Ecology named I.L. Povkh	86
Instructions for authors	92

Уважаемые коллеги!

Уходящий 2020 год ознаменован многими памятными датами. Среди них особое место занимает 55-летие со дня основания в Донецком национальном университете кафедры радиофизики и инфокоммуникационных технологий, а также кафедры физики неравновесных процессов, метрологии и экологии им. И.Л. Повха.

К большому сожалению, в сложившейся в уходящем году тяжёлой ситуацией торжественно отметить эту дату не удалось. Учитывая, что вышеуказанные кафедры являются основателями физико-технического факультета ДонНУ, редакционная коллегия приняла решение посвятить настоящий номер журнала прошедшему юбилею.

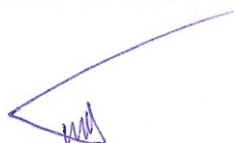
Надеемся на плодотворное сотрудничество с Вами в наступающем 2021 году!

Главный редактор



В.В. Данилов

Ответственный секретарь



И.А. Третьяков

П Р И Б О Р О С Т Р О Е Н И Е , М Е Т Р О Л О Г И Я И И Н Ф О Р М А Ц И О Н Н О - И З М Е Р И Т Е Л Ь Н Ы Е П Р И Б О Р Ы И С И С Т Е М Ы



УДК 004

РАСЧЕТ СВЕТОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗЛУЧАТЕЛЯ ОДНОЛУЧЕВОГО ФЛУОРИМЕТРА

© 2020 Карповский А.Ю., Кузнецов Д.Н.

В статье рассматривается возможность применения современных светодиодов в области проектирования информационных устройств – флуориметров. Авторами приведены результаты исследования, основанные на измерениях величин и характеристик реального объекта – мощного светодиода с максимумом длины волны в синем спектре. Расчетная часть исследования позволяет сформировать параметры питания излучателя канала однолучевого флуориметра.

Ключевые слова: однолучевой флуориметр, светодиод, характеристики, параметры питания.

Введение. Одним из наиболее актуальных методов анализа состояния растений, согласно источника [1], выступает – флуориметрический метод, разработанный с целью оперативной оценки на уровне листа. Данный метод, рассматриваемый в источниках [2, 3] предусматривает применение измерительных устройств – флуориметров.

Результаты анализа исследований и публикаций тематики «флуориметров для высших растений» [4, 5] позволяют выделить в структуре устройств мобильного типа следующие каналы: канал формирования излучения света, и канал первичной регистрации отклика «сигнала» исследуемого объекта-листа растения. Однако конструкции каналов широко применяемых флуориметров имеют ряд особенностей, ведущих к удорожанию устройства при изготовлении и наладке, таких как:

- применение дорогостоящих излучателей света (лазеры);
- применение дорогостоящих фотоприемников (фотоумножители);
- применение фокусирующих и рассеивающих линз и др.

В связи с этим актуальной является задача проектирования каналов вновь разрабатываемых флуориметров с применением современной, доступной и распространенной элементной базы.

В качестве источников света в флуориметре можно с успехом использовать современные «фитосветодиоды». Они имеют низкую стоимость, достаточную мощность и стабильность, высокий КПД и узкий спектр излучения.

Из информационных источников [6, 7] известно, что для большинства видов высших растений при проведении тестов по типу «JIP-тест» и подобных, формируется свет с интенсивностью в пределах от 500 до 2500 $\mu\text{моль фотонов}/\text{м}^2\cdot\text{с}^{-1}$. Максимальная длина волны, наиболее значимая для взаимодействия с хлорофиллом, приходится на 460 нм.

Однако разработчики современных светоизлучателей в сопроводительной документации на светодиоды не указывают световых характеристик в данных величинах. В связи с этим возникает необходимость в дополнительных расчетах светоэнергетических характеристик излучателей.

Цель работы. По имеющимся параметрам источника света, произвести расчет светоэнергетических характеристик излучателя флуориметра и определить параметры питания светодиода для формирования светового потока необходимой интенсивности.

Основная часть. Для выполнения расчетов задаемся диапазоном фотосинтетически активной радиации (далее - ФАР) в пределах от 400 до 700 нм. Согласно источникам [6,7] энергия данного диапазона наиболее эффективно воздействует на физиологические процессы растения, в том числе и фотосинтез.

Все известные световые величины и характеристики, применяемые для выполнения промежуточных расчетов, приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Исходные данные

Наименование	Значение
Спектральная световая эффективность (видность) человеческого глаза	ГОСТ 8.332-2013
Диапазон длины волны, нм	от 400 до 700
Расстояние от источника света до листа L , мм	10
Напряжение на синем светодиоде, В	3,5
Ток синего светодиода, мА	500
Максимальная длина волны синего светодиода, нм	460
Потребляемая светодиодом мощность, Вт	1,6
Необходимая облученность, мкмоль фотонов/м ² ·с ⁻¹	от 500 до 2500

Для достижения цели данного исследования необходимо решить следующие задачи:

- 1) Найти облученность рабочей поверхности (листа растения).
- 2) Выполнить расчет облученности поверхности в мкмоль/м²·с⁻¹.
- 3) Найти поток излучения (Вт) источника света.
- 4) Выбрать параметры питания излучателя.

Проведя анализ методик пересчета энергетических световых величин, в качестве наиболее актуальной принята методика пересчета величины освещенности в величину облученности [8].

Для решения задачи 1, поиска облученности рабочей поверхности, воспользуемся следующим выражением:

$$E_e = \frac{1}{K_m} \cdot N \cdot E_v, \quad (1)$$

где E_e – облученность, Вт/м²; E_v – освещенность поверхности, лк; $1/K_m$ – величина механического эквивалента света, численно равная $1/680 = 1,47 \cdot 10^{-3}$; N – отношение величин полной и видимой человеческим глазом световой энергии источника освещения.

Так как применяемые приборы дают дискретные результаты измерений в виде таблично заданных функций, в нижеследующих расчетах предполагается суммирование с шагом конечной длины ($\Delta\lambda = 1$ нм) взамен интегрирования с шагом бесконечно малой длины ($d\lambda \rightarrow 0$).

Для поиска значения N источника освещения получим численные значения относительного спектра излучения светодиода. Для снятия спектральной характеристики применяется спектрофотометр (лабораторный стенд, кафедра ЭТ, ДонНТУ). В качестве начального приближения, выберем номинальный режим работы светодиода с напряжением питания 3,5 В и током 500 мА.

Спектральная характеристика светодиода, зависимость потока излучения от длины волны $\Phi_e(\lambda)$ приведена на рисунке 1.

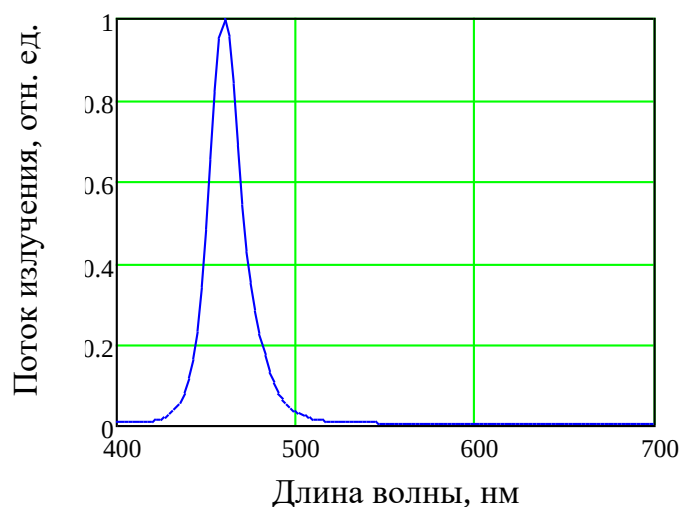


Рис. 1. Энергетический спектр излучения синего светодиода ($\lambda_{max}=460$ нм)

В связи с шагом измерения интенсивности светового потока равным 2,5 нм, обусловленным принципом работы спектрофотометра, необходимо расширить сетку полученных значений, чтобы получить шаг в 1 нм. Для этого найдем неизвестные промежуточные значения путем линейной интерполяции полученной характеристики. Интерполированные значения спектральной характеристики синего светодиода занесем в рабочую таблицу 2.

Далее задаемся спектром относительной видности человеческого глаза согласно ГОСТ 8.332-2013. Численные значения относительной видности с шагом в 1 нм занесем в рабочую таблицу 2, характеристика относительной видности человеческого глаза $V(\lambda)$ приведена на рисунке 2.

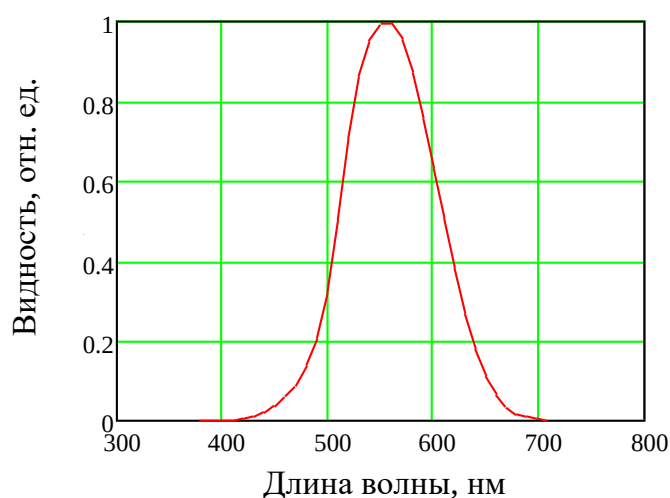


Рис. 2. Относительная спектральная световая эффективность (относительная видность), $V(\lambda)$

Путем перемножения значений относительной видности человеческого глаза на значения спектральной характеристики синего светодиода, получим спектр, показывающий восприятие излучения синего светодиода человеческим глазом. Данные расчетов занесем в рабочую таблицу 2. Полученная характеристика приведена на рисунке 3.

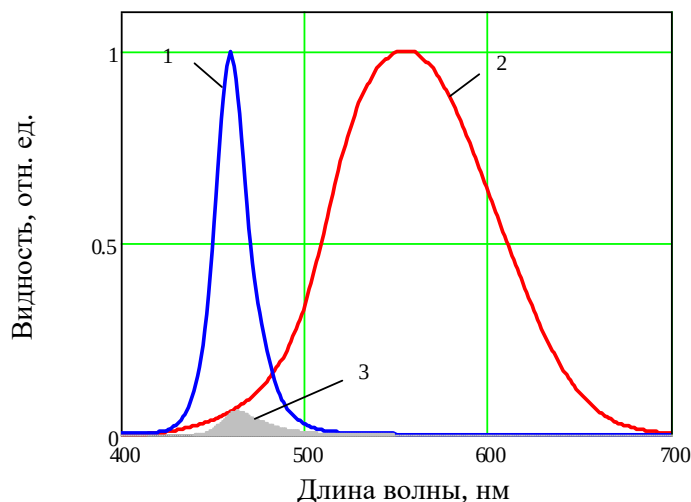


Рис. 3. Распределение энергии в спектре синего светодиода: 1 – видность человеческого глаза, 2 – интерполированный массив интенсивности синего светодиода, 3 – видимая человеческим глазом часть световой энергии)

Для определения значения N воспользуемся выражением:

$$N = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} \Phi_e(\lambda) d\lambda}{\sum_{i=0}^{n-1} \Phi_e(\lambda) d\lambda \cdot V(\lambda) d\lambda} \approx \frac{\sum_{i=0}^{700} \Phi_e(\lambda_i)(\lambda_{i+1} - \lambda_i)}{\sum_{i=0}^{700} \Phi_e(\lambda_i) \cdot V(\lambda_i) \cdot (\lambda_{i+1} - \lambda_i)} = \frac{25,242}{2,151} = 11,733.$$

Для численного интегрирования воспользуемся методом прямоугольников, следовательно, граничное значение (для $\lambda=700$ нм) не учитывается.

Для дальнейших вычислений величины облученности получим значение освещенности для расстояния от светодиода до рабочей поверхности равным 10 мм. Данное расстояние обусловлено конструктивными особенностями проектируемого канала флуориметра. Измерим величину освещенности при помощи модуля люксметра ВН1750.

По полученным данным рассчитаем облученность листа в соответствии с выражением (1):

$$E_e = \frac{1}{K_m} \cdot N \cdot E_v = 1,464 \cdot 10^{-3} \cdot 11,733 \cdot 207500 = 3,57 \cdot 10^3 \frac{Bm}{m^2}.$$

Учитывая площадь освещаемой поверхности, получим:

$$E_e \cdot S = 3,57 \cdot 10^3 \cdot 112 \cdot 10^{-6} = 0,399 Bm.$$

На рабочую поверхность листа площадью 112 мм^2 падает поток излучения, равный $0,399 \text{ Вт}$.

Для решения задачи 2, поиска количества энергии излучения, падающей на рабочую поверхность листа в области ФАР в пересчете на число молей квантов света (эйнштейн) необходимо:

- рассчитать долю световой энергии, приходящуюся на каждую длину волны из диапазона ФАР;
- рассчитать количество световой энергии, приходящейся на каждую длину волны;
- найти число квантов, приходящееся на каждую длину волны.

Связь энергии одного кванта света с длиной волны имеет вид:

$$E(\lambda) = h \cdot \nu = \frac{hc}{\lambda},$$

где ν – частота излучения, $1/\text{с}$; $h=6,626 \cdot 10^{-34}$ – постоянная Планка, $\text{Дж} \cdot \text{с}$; $c=299792458$ – скорость света в вакууме, м/с .

Следует сложить общее число квантов для всех длин волн и полученную сумму разделить на число Авогадро, так получим число молей квантов света, падающих на 1 м^2 за 1 с .

Доля энергии излучения $\delta(\lambda)$, приходящаяся на длину волны:

$$\delta(\lambda) = \frac{\Phi_e(\lambda)}{\sum_{i=0}^{n-1} \Phi_e(\lambda) d\lambda}.$$

Поскольку рассматривается дискретный случай, т.е. берем долю энергии для некоторого диапазона от λ до $\lambda + \Delta\lambda$, запишем формулу связи между дискретным и непрерывным случаем в следующем виде:

$$\delta(\lambda_i) \approx \frac{\Phi_e(\lambda_i)(\lambda_{i+1} - \lambda_i)}{\sum_{i=400}^{700} \Phi_e(\lambda_i) \cdot (\lambda_{i+1} - \lambda_i)}.$$

Энергия излучения в спектре светодиода для каждой длины волны $E_0(\lambda)$. Долю для каждой длины волны умножаем на величину облученности, таким образом, получаем количество энергии излучения для каждой длины волны в спектре источника излучения, по следующему выражению:

$$E_0(\lambda_i) = \delta(\lambda_i) \cdot E_e.$$

Число квантов света $n(\lambda)$ для каждой длины волны в спектре светодиода находим путем деления величины энергии излучения в спектре светодиода для каждой длины волны $E_0(\lambda)$ на энергию кванта $E(\lambda)$ для каждой длины волны:

$$n(\lambda_i) = \frac{E_0(\lambda_i)}{E(\lambda_i)}.$$

Результаты расчетов для каждой длины волны заносим в рабочую таблицу 2.

Число молей квантов света E_n рассчитаем путем деления суммы всех квантов $n(\lambda)$ на число Авогадро N_A .

$$E_n = \frac{\sum_{i=1}^{700} n(\lambda_i)}{N_A} = \frac{8,312 \cdot 10^{21}}{6,022 \cdot 10^{23}} = 0,014 \text{ моль}.$$

Таким образом, 0,014 моль световых квантов, падающих на 1 м^2 в 1 с , соответствует величине облученности 3570 Вт/м^2 .

Для решения задачи 3 найдем поток излучения Φ_e . Связь между Φ_e и известным значением светового потока Φ_v устанавливается выражением:

$$\Phi_e = 1,464 \cdot 10^{-3} \cdot N \cdot \Phi_v = 0,5153 \text{ Вт}.$$

Энергетическую эффективность светодиода (или КПД) найдем из отношения потока излучения к потребляемой мощности светодиода:

$$\eta = \frac{\Phi_e}{P_{VD}} \cdot 100\% = \frac{0,5151 \text{ Вт}}{1,615 \text{ Вт}} \cdot 100\% = 31,9\%.$$

Значения промежуточных расчетов приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Рабочая таблица, содержащая значения расчетов

λ	$\Phi_e(\lambda)$	$V(\lambda)$	$\Phi_e(\lambda) \cdot V(\lambda)$	$\delta(\lambda)$	$E_0(\lambda)$	$E(\lambda)$	$n(\lambda)$
400	$8,50 \cdot 10^{-3}$	$396,0 \cdot 10^{-6}$	$3,44 \cdot 10^{-6}$	$317 \cdot 10^{-6}$	0,960	$497 \cdot 10^{-21}$	$1,93 \cdot 10^{18}$
401	$8,53 \cdot 10^{-3}$	$434,0 \cdot 10^{-6}$	$3,70 \cdot 10^{-6}$	$318 \cdot 10^{-6}$	0,962	$495 \cdot 10^{-21}$	$1,94 \cdot 10^{18}$
...	...	...	...	...	...	...	...
700	$5,28 \cdot 10^{-3}$	$4,1 \cdot 10^{-3}$	$22,00 \cdot 10^{-6}$	$196 \cdot 10^{-6}$	0,596	$284 \cdot 10^{-21}$	$2,1 \cdot 10^{18}$
$\Sigma =$	26,80		2,69	1	$3 \cdot 10^3$		$2,1 \cdot 10^{21}$

В результате расчетов получили, что при выбранной мощности светодиода число молей квантов света E_n превышает исходный диапазон (от 500 до $2500 \text{ мкмоль/м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$) облученности в 27,5 и 5,5 раз соответственно, что может пагубно повлиять на листья растений при проведении опытов использования флуориметра. В соответствии с этим существуют 2 варианта снижения величины облученности рабочей поверхности:

а) увеличить расстояние между источником излучения;

б) скорректировать режим питания светодиода в сторону снижения мощности.

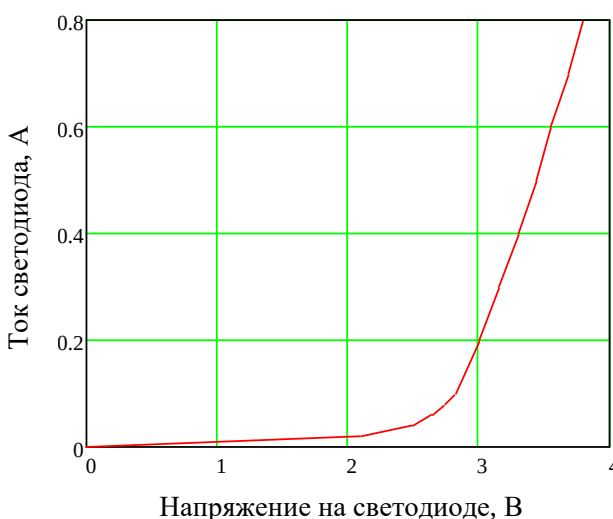


Рис. 4. Распределение энергии в спектре синего светодиода

Исходя из конструктивных особенностей разрабатываемого образца флуориметра, к которому предъявлены требования в части габаритных размеров измерительной части устройства вариант «а» снижения величины облученности не является целесообразным. В соответствии с этим, для формирования необходимого потока излучения необходимо снизить мощность светодиода, с учетом смещения его точки покоя на вольт-амперной характеристике в сторону меньших токов. Экспериментальная ВАХ светодиода приведена на рисунке 4.

Для решения задачи 4, поиска параметров питания излучателя, исходя из требуемых начальных условий проведения исследования – формировать свет с интенсивностью в пределах от 500 до 2500 $\mu\text{моль фотонов}/\text{м}^2\cdot\text{с}^{-1}$, в соответствии с ВАХ светодиода становится возможным за счет снижения мощности источника питания. Для достижения заданных величин световой интенсивности следует задаться следующими параметрами источника питания:

- для интенсивности 2500 $\mu\text{моль фотонов}/\text{м}^2\cdot\text{с}^{-1}$: $P_{VD}=0,29 \text{ Вт}$; $U_{VD}=2,85 \text{ В}$; $I_{VD}=0,1 \text{ А}$;

- для интенсивности 500 $\mu\text{моль фотонов}/\text{м}^2\cdot\text{с}^{-1}$: $P_{VD}=0,06 \text{ Вт}$; $U_{VD}=2,1 \text{ В}$; $I_{VD}=0,025 \text{ А}$.

Выводы.

1. В результате выполненных расчетов установлено, что для выбранного светодиода значениям плотности светового потока 500 и 2500 $\mu\text{моль}/\text{м}^2\cdot\text{с}^{-1}$ соответствуют значения облученности 130 $\text{Вт}/\text{м}^2$ и 650 $\text{Вт}/\text{м}^2$.

2. Проведенное исследование показало, что исследуемый светодиод рекомендовано применять в качестве излучателя для флуориметра, организовав питание светодиода мощностью 0,06 Вт и 0,29 Вт соответственно.

3. Теоретический режим работы вблизи нижней части кривой ВАХ светодиода может отличаться от экспериментального в части спектральных характеристик, это обусловлено внутренней структурой (параметрами р-п перехода) светодиода, что требует дополнительных исследований режима работы светодиода на реальном объекте.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карповский А. Ю. Анализ современных методов качественной оценки состояния растений / А. Ю. Карповский, Д. Н. Кузнецов // Автоматизация технологических объектов и процессов. Поиск молодых : XVIII Международная научно-техническая конференция (в рамках 4-го Международного научного форума «Инновационные перспективы Донбасса»), 22-24 мая 2018 года: сборник научных трудов конференции. – Донецк : ДОННТУ, 2018. – 544 с.
2. Изучение параметров флуоресценции хлорофилла а хлоропластов коры деревьев тополя, растущих в разных районах города Улан-Батор / А. А. Волгушева, О. В. Яковлева, И. В. Конохов [и др.] // Математика. Компьютер. Образование. – Москва-Ижевск : НИЦ Регулярная и хаотическая динамика, 2009. – Т. 2. – С. 180–197.
3. Орехов Д. И. Флуоресцентный анализ как инструмент оценки физиологического состояния деревьев в различных условиях загрязнения в г. Москве / Д. И. Орехов, Г. А. Калабин // Вестник Российского университета дружбы народов. – 2013. – № 5. – С. 5–16.
4. Патент 2652528 С1 Российская Федерация, МПК G01N 21/64 (2006.01), G01N 21/63 (2006.01), G01N 21/01 (2006.01). Флуориметр с многоканальной системой возбуждения на светодиодах : № 2017119578 : заявл. 05.06.2017 : опубл. 26.04.2018 / Салюк П. А., Нагорный И. Г., Майор А. Ю. [и др.]. – Текст : электронный. – URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_37367280_76153848.PDF (дата обращения: 12.09.2020).

5. Патент № 112506 Україна, G01N 21/00, G01N 21/64. Поляритонний флуориметр з додатковим прямим збудженням : № 2016 04626 : заявл. 25.04.2016, опубл. 26.12.2016 / Павлюченко О. С., Чегель В. І., Могильний І. В. [та ін.]. – Текст : електронний. – URL: <https://uapatents.com/6-112506.html#metki> (дата звертання: 10.09.2020).
6. Корнеев Д. Ю. Информационные возможности метода индукции флуоресценции хлорофилла / Д. Ю. Корнеев. – Киев : Алтерпресс, 2002. – 188 с.
7. Переменная и замедленная флуоресценция хлорофилла а - теоретические основы и практическое приложение в исследовании растений / В. Н. Гольцев, М. Х. Каладжи, М. А. Кузманова, С. И. Аллахвердиев. – Москва–Ижевск : Ин-т компьютер. исслед., 2014. – 220 с.
8. Геворгиз Р. Г. Пересчёт величины освещённости фотобиореактора в величину облучённости : учебно-методическое пособие / Р. Г. Геворгиз, А. С. Малахов / РАН, Институт морских биологических исследований им. А. О. Ковалевского. – Севастополь, 2018. – 60 с.

Поступила в редакцию 28.09.2020 г.

MATHEMATICAL DETERMINATION OF LIGHT-ENERGY CHARACTERISTICS OF A SINGLE-BEAM FLUOROMETER

Karpovskii A.Iu., Kuznetsov D.N.

The article discusses the possibility of using of modern LEDs in the engineering of information devices–fluorometers. The authors presents the results of a study which based on measurements of the values and characteristics of real object – a high-power LED with wavelength maximum in the blue spectrum aria. The calculated part of the study makes it possible to form the power parameters of the emitter of the channel of a single-beam fluorometer.

Keywords: Single-beam fluorometer, light-emitting diode, characteristics, power parameters.

Карповский Артур Юрьевич

заведующий отделом автоматизации горных машин ГУ «Автоматгормаш им. В.А. Антипова», аспирант кафедры электронной техники ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет»,
ДНР, г. Донецк.
E-mail: karpovsky.work@gmail.com

Karpovskii Artur Iurievich

Head of the Department of Automation of Mining Machines GU «Avtomatgormash named after V. A. Antipov», postgraduate student at Department of Electronic Engineering of Donetsk National Technical University,
DPR, Donetsk.

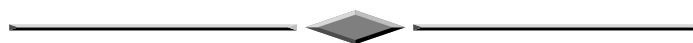
Кузнецов Дмитрий Николаевич

кандидат технических наук, доцент кафедры электронной техники ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет»,
ДНР, г. Донецк.
E-mail: kuzen2000@rambler.ru

Kuznetsov Dmitrii Nikolaevich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at Department of Electronic Engineering of Donetsk National Technical University,
DPR, Donetsk.

РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ



УДК 004.056.5

АЛГОРИТМ АУТЕНТИФИКАЦИИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ С СОЗДАНИЕМ БЕЗОПАСНОГО КАНАЛА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В КОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ ПРОТОКОЛА UDP

© 2020 *Бабичева М.В., Поздняков А.А.*

Проанализированы распространённые методы аутентификации пользователя и создания безопасного канала передачи данных на прикладном уровне модели TCP/IP. Разработан алгоритм аутентификации с одновременным обменом ключом на основе протокола транспортного уровня UDP.

Ключевые слова: безопасная передача данных, мобильные коммуникационные системы, аутентификация, UDP, HTTPS.

Введение. Говоря о современных веб-технологиях в последние несколько лет, исследователи и эксперты всё чаще обращают взгляд на тему перехода пользователей от использования стационарных компьютеров и ноутбуков к использованию мобильных устройств. Так, за 10 лет, в период с 2009 по 2019 год, количество проданных по всему миру смартфонов увеличилось с 172.38 миллионов единиц в год, до 1524.84 миллионов. А количество пользователей смартфонов к 2020 году составило 3.5 миллиарда человек, или 44.81% от всего населения.

Кроме того, если в 2013 году только 16.2% всего интернет-трафика приходилось на смартфоны, то в 2019 году он составлял уже 53.3%. Важно отметить, что эти данные представляют только трафик через смартфоны, не включая другие мобильные устройства, такие как планшетные компьютеры, например, использование которых также выросло за этот период. Таким образом, большая часть пользователей всемирной сети уже перешла на использование мобильных устройств.

Учитывая эту тенденцию многие компании находят очень выгодным разработку мобильных решений для своего бизнеса. Это касается не только компаний, создающих веб-продукты, такие как интернет-магазины, социальные сети, сервисы развлечений и пр. Свою нишу на мобильном рынке сейчас также активно занимают автомобильные производители, производители бытовой техники, транспортные компании и многие другие. Такие компании, в отличие от производителей веб-продуктов, предпочитают строить коммуникацию своих систем на более простых в реализации протоколах транспортного уровня (TCP, UDP), нежели на протоколах прикладного уровня (HTTP).

Однако, в то время как для HTTP существует расширение, позволяющее создавать безопасные сессии с шифрованием данных - HTTPS, для протоколов TCP и UDP нет подобных общепринятых расширений на транспортном уровне [1]. В связи с этим компании вынуждены самостоятельно разрабатывать и реализовывать протоколы аутентификации пользователей, создание сессий и шифрование данных. Это, в свою очередь, раз за разом приводит к появлению небезопасных коммуникационных систем, подверженных атакам и утечкам данных в лучшем случае и к потенциально опасным для жизни и здоровья пользователей выходам оборудования из строя в худшем.

Постановка задачи. Целью данной работы является анализ известных протоколов аутентификации пользователя и создания безопасного канала передачи данных, а также разработка оптимального алгоритма для использования в системе с протоколом передачи UDP. Результаты предполагается использовать при построении коммуникационной системы с архитектурой клиент-сервер.

Схемы аутентификации HTTP. В первую очередь следует выбрать схему аутентификации пользователя. Во время аутентификации пользователя безопасный канал передачи данных ещё может быть не организован. Поэтому будем считать, что все данные передаются в незашифрованном виде. Наиболее распространёнными схемами аутентификации в HTTP являются:

1) **Basic authentication.** Для аутентификации клиент отправляет серверу строку вида «логин:пароль», закодированную с помощью Base64 (рис. 1). Очевидным недостатком такого метода является то, что при перехвате пакета аутентификации, злоумышленник сможет легко получить логин и пароль пользователя. В таком случае злоумышленник сможет не только получить доступ к данному серверу, но и потенциально к другим сервисам, которыми пользуется данный пользователь, так как зачастую пользователи предпочитают использовать одинаковые или похожие логины и пароли для различных сервисов. Таким образом, чтобы использовать basic authentication необходимо сначала установить безопасный канал передачи, гарантирующий защиту от перехвата.

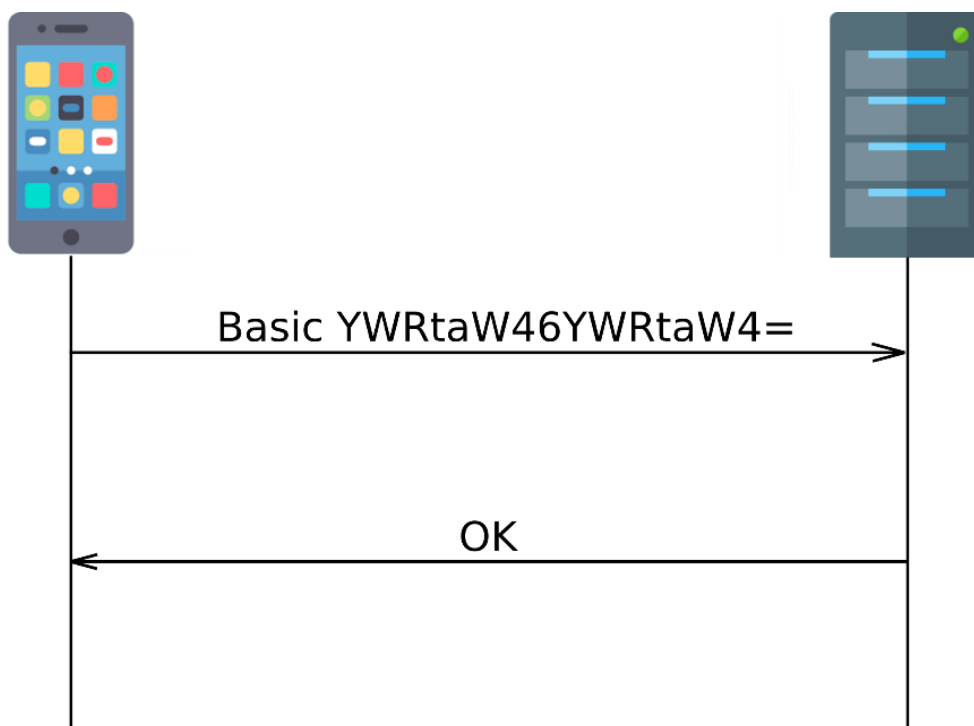


Рис. 1. Basic authentication

2) **Bearer authentication.** В данной схеме, клиент не передаёт свои логин и пароль для аутентификации. Вместо этого он отправляет серверу заранее выданный ему токен аутентификации. Эта схема также уязвима для перехвата. Получив токен, злоумышленник сможет аутентифицироваться на сервере под видом клиента. Однако такая схема не ставит под удар другие сервисы, так как токен аутентификации уникален для данного сервера и не будет принят другими сервисами.

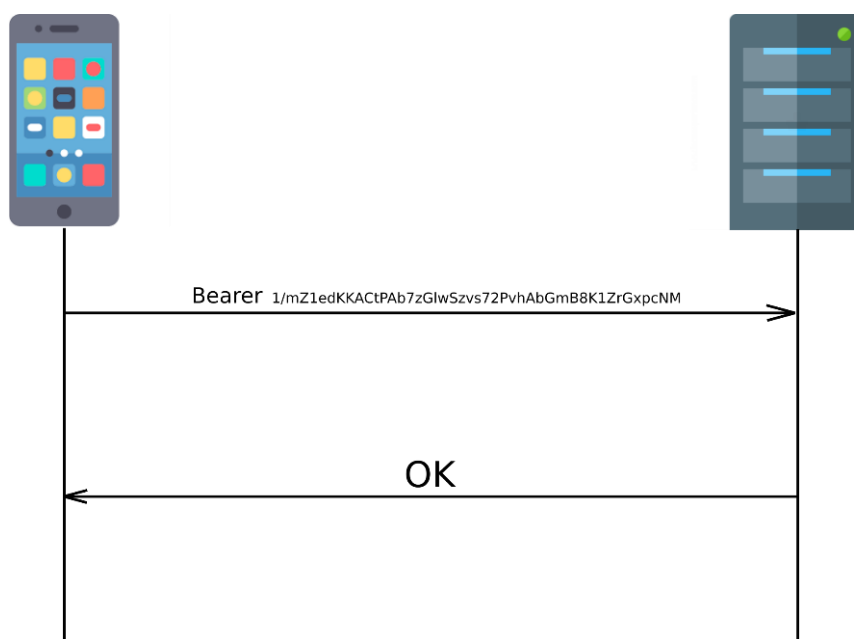


Рис. 2. Bearer authentication

3) **Digest authentication.** В схеме digest authentication клиент отправляет серверу запрос на аутентификацию. Сервер в ответ присылает случайное число (nonce). Далее клиент вычисляет MD5 хеш от конкатенации логина, пароля и nonce и отправляет его на сервер. Сервер вычисляет такой же хеш и сравнивает его с полученным от клиента, если данные совпадают, то пользователь проходит аутентификацию. Графически схема представлена на рисунке 3. Несмотря на то, что данная схема требует больше шагов, она же является и самой надёжной из рассмотренных. Digest authentication гарантирует, что даже при перехвате данных злоумышленник не имеет возможности обратить хеш-функцию и получить необходимые для аутентификации данные [2].

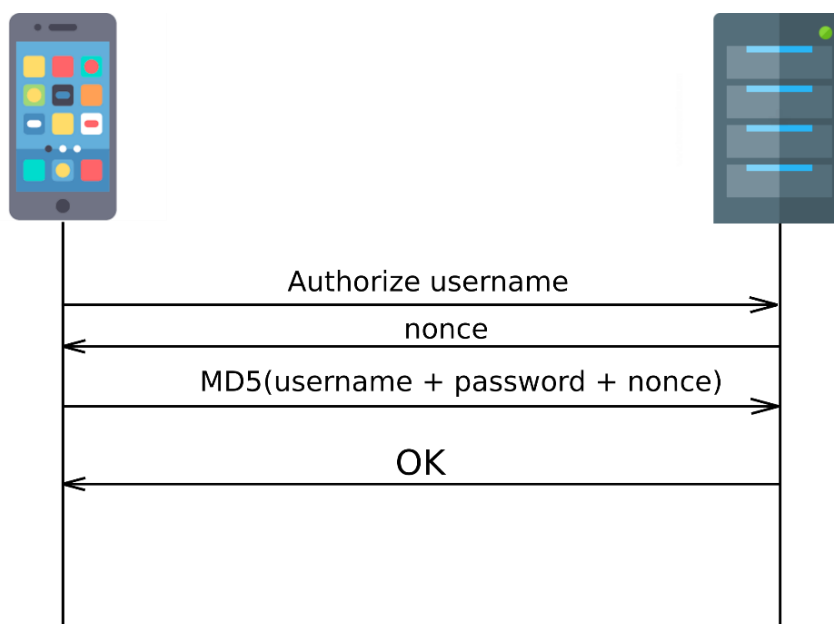


Рис. 3. Digest authentication

Создание безопасного канала передачи данных в HTTPS. Как уже было сказано, протокол HTTP имеет расширение HTTPS, позволяющее создавать безопасный канал передачи между клиентом и сервером. В HTTPS клиент и сервер в начале сеанса связи договариваются о ключе шифрования при помощи асимметричного алгоритма (RSA, Diffie-Hellman), а затем шифруют данные с помощью симметричного алгоритма (AES, DES, RC4, RC2, 3-DES) используя этот ключ [3]. Наиболее существенной и наиболее уязвимой частью данного протокола является обмен ключом. Рассмотрим оба алгоритма.

1) **RSA.** Алгоритм RSA был разработан в конце 1970-х тремя учёными: Ривестом, Шамиром и Адлеманом, по первым буквам фамилий которых и назвали алгоритм. Обмен ключом по этому алгоритму осуществляется следующим образом. Алиса отправляет Бобу свой открытый ключ RSA (e, n). Далее Боб создаёт ключ шифрования для симметричного алгоритма, шифрует его открытым ключом Алисы и возвращает Алисе зашифрованный ключ. Алиса, используя свой приватный ключ (d, n), расшифровывает сообщение и получает ключ шифрования. Таким образом и у Алисы, и у Боба есть одинаковый ключ, которым они теперь могут шифровать данные и передавать по незащищенному каналу. Графически алгоритм представлен на рисунке 4.

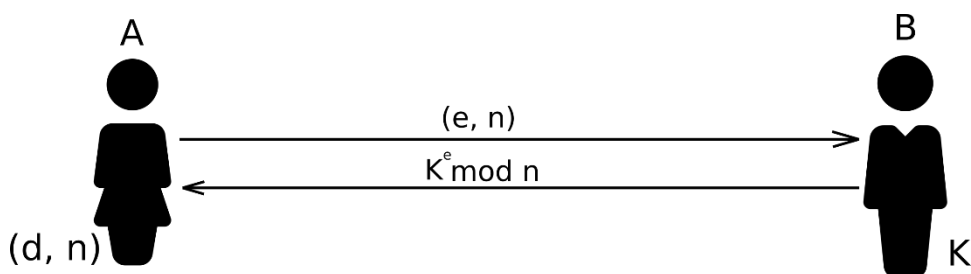


Рис. 4. Обмен ключом по RSA

2) **Diffie-Hellman.** Алгоритм опубликован Диффи и Хеллманом в 1976, на год раньше RSA. По этому алгоритму Алиса и Боб заранее договариваются о публичном ключе (g, n). Когда им нужно договориться о ключе, Алиса и Боб выбирают секретные числа (a и b). После этого они обмениваются значениями $A = g^a \bmod n$ и $B = g^b \bmod n$. Далее Алиса вычисляет $K = B^a \bmod n$, а Боб $K = A^b \bmod n$. Таким образом теперь они оба имеют ключ для дальнейшего шифрования данных (рис. 5) [4].

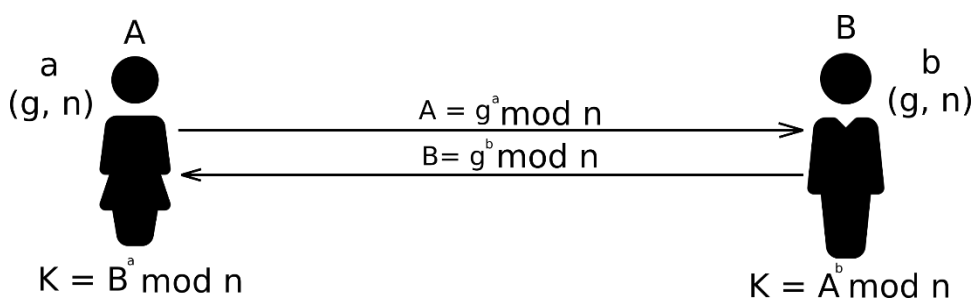


Рис. 5. Обмен ключом по Diffie-Hellman

Создание собственного алгоритма. Вначале разработки, была предложена схема с базовой аутентификацией и обменом ключом по алгоритму RSA. Рассмотрим эту схему.

В первую очередь клиент инициирует процесс аутентификации, отправляя серверу логин пользователя. Сервер присылает клиенту публичный ключ для шифрования пароля. Клиент шифрует пароль пользователя и отправляет шифротекст серверу. Сервер

расшифровывает сообщение и проверяет пароль пользователя. Если пароли совпадают, то пароль используется как ключ шифрования для алгоритма AES в дальнейшей передаче данных. Графически алгоритм представлен на рисунке 6.

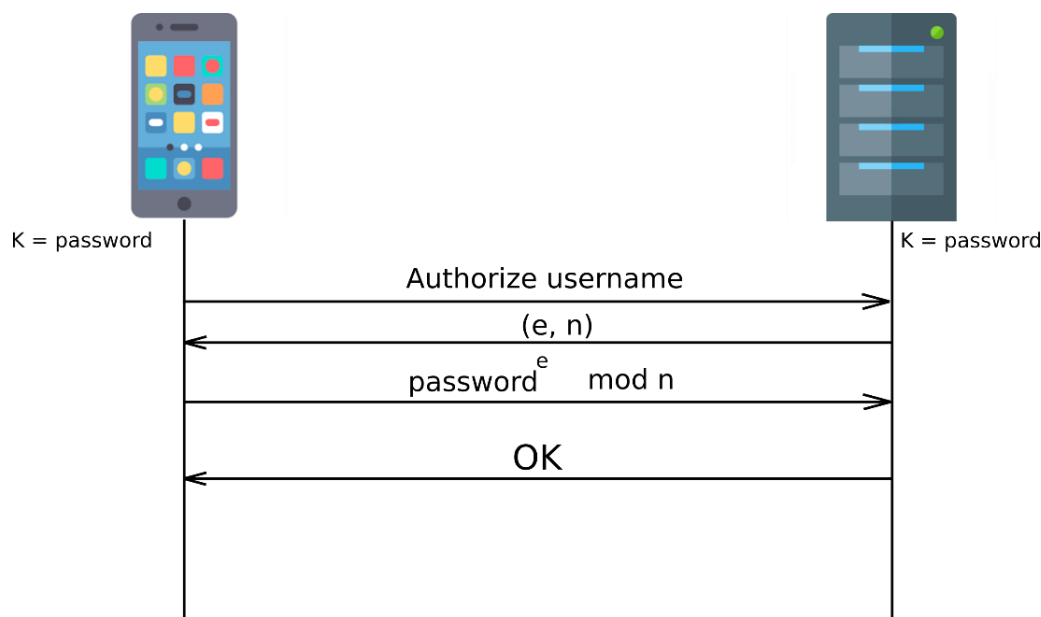


Рис. 6. Аутентификация RSA

В данной схеме перехвативший трафик злоумышленник не сможет получить пароль пользователя, так как данные не передаются в открытом виде. Однако при дальнейшем анализе системы выяснилось, что злоумышленник потенциально может не только перехватывать трафик, но и подменять его. В таком случае предложенная схема является уязвимой к атаке Man-In-The-Middle (MITM).

Для разрешения этой проблемы был разработан модифицированный алгоритм, основанный на digest authentication (рис. 7).

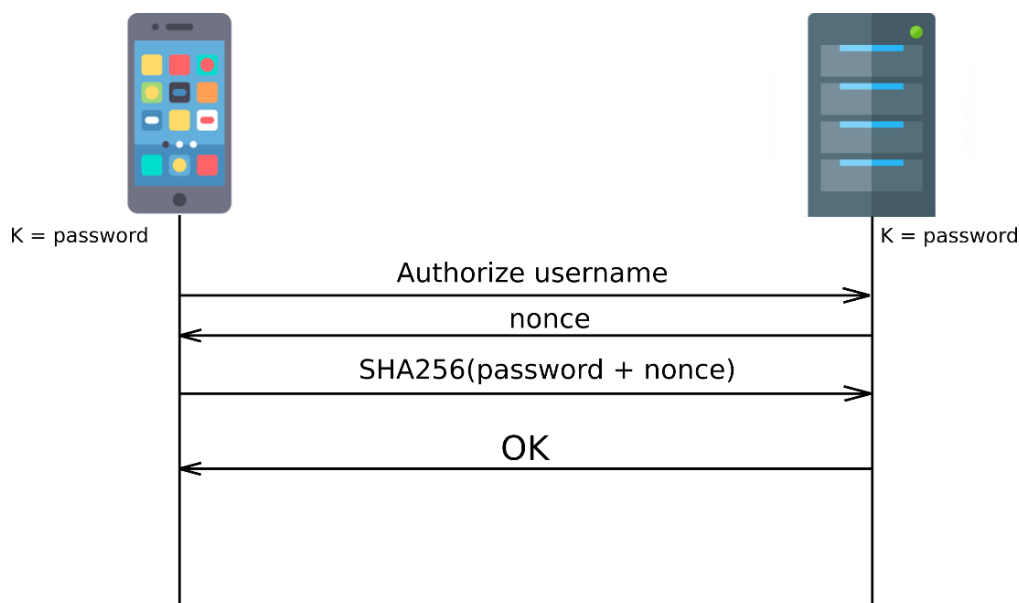


Рис. 7. SHA256 аутентификация

Первый шаг алгоритма не изменился - клиент отправляет серверу логин, под которым он хочет аутентифицироваться. Сервер отвечает клиенту случайным числом. Далее клиент вычисляет SHA256 от конкатенации пароля пользователя и этого случайного числа и отправляет хеш-сумму серверу. Сервер проводит те же вычисления и сравнивает результат с ответом клиента. Если они совпадают, то аутентификация считается успешной и пароль пользователя можно использовать как ключ шифрования для дальнейшего обмена данными.

Выводы. Проведенный анализ алгоритмов аутентификации пользователя и создания безопасного канала передачи данных, позволил разработать алгоритм аутентификации с одновременным обменом ключом в клиент-серверной коммуникационной системе, основанной на протоколе UDP. Алгоритм был улучшен для устранения уязвимости MITM, что также значительно ускорило скорость работы системы, за счёт устранения сложных вычислений в рамках алгоритмов RSA или Диффи-Хеллмана.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gardner M. A New Kind of Cipher that Would Take Millions of Years to Break / M. Gardner, M. Gardner // Scientific American. – 1977. – Vol. 237. – P. 120–124.
2. Hypertext Transfer Protocol – HTTP/1.1 / The Internet Society. – Текст : электронный. – URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc2616> (дата обращения: 11.10.2020).
3. Rescola E. SSL and TLS: Designing and Building Secure Systems / E. Rescola. – Boston : Addison-Wesley Professional, 2000. – 386 p.
4. Diffie W. New Directions in Cryptography / W. Diffie, M. E. Hellman // IEEE Transactions on Information Theory. – 1976. – № 6. – P. 644–654.

Поступила в редакцию 11.10.2020 г.

AUTHENTICATION ALGORITHM WITH SECURE TRANSMISSION CHANNEL CREATION WITHIN COMMUNICATION SYSTEMS BASED ON UDP PROTOCOL

Babicheva M.V., Pozdnyakov A.A.

Most common methods of user authentication and creation secure data transmission channel on the application level of TCP/IP network model are analyzed. Authentication algorithm with secure data transmission channel creation based on UDP protocol is developed.

Keywords: secure data exchange, mobile communication systems, authentication, UDP, HTTPS.

Бабичева Маргарита Вадимовна

ст. преподаватель кафедры радиопизики и инфокоммуникационных технологий ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»,
ДНР, Донецк.
E-mail: m.v.babicheva60@gmail.com

Babicheva Margarita Vadimovna

Senior Lecturer at Department of Radiophysics and Infocommunication Technologies of Donetsk National University,
DPR, Donetsk.

Поздняков Александр Андреевич

студент кафедры радиопизики и инфокоммуникационных технологий ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»,
ДНР, Донецк.
E-mail: mail.0awawa0@gmail.com

Pozdnyakov Alexandr Andreevich

Student at Department of Radiophysics and Infocommunication Technologies of Donetsk National University,
DPR, Donetsk.

УДК: 539.2:534.242

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ УПРУГОЙ СРЕДЫ ПРИ УДАРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

© 2020 Тимченко В.И., Сорока В.А., Ступак В.А., Третьяков И.А., Данилов В.В.

В статье проведен анализ возможности использования метода акустического резонанса для определения параметров упругой среды. Использование регламентированных условий возбуждения упругих колебаний и последующая цифровая обработка позволяют определить качество технических изделий как добротность акустического резонатора.

Ключевые слова: дефектоскопия, резонансная спектроскопия, коэффициент упругости, упругое взаимодействие, преобразование Фурье.

Введение. Контроль и диагностика механического состояния и целостности всевозможных конструкций и изделий является насущной задачей промышленного производства. Это актуально в энергетике, машиностроении, на транспорте и в строительстве. Поэтому методы неразрушающего контроля постоянно развиваются и совершенствуются. Практическое применение импульсного ультразвукового метода может быть осуществлено различными способами. Из них наиболее распространенными являются:

1. Анализ сквозного прохождения волн, когда приемник и излучатель находятся на разных гранях исследуемого образца или натурального объекта.
2. Продольное профилирование, когда приемник и излучатель колебаний находятся на одной из граней и один из них перемещается вдоль фиксированной линии — профиля наблюдения.
3. Эхо-метод, или метод отраженных волн.

Для обнаружения различных включений, трещин, полостей и т.д. на практике широко применяют метод УЗ – дефектоскопии, основанный на регистрации отраженных от дефектов упругих волн. Однако ясно, что наличие таких дефектов уже свидетельствует о недостаточном качестве контролируемых изделий и плохих эксплуатационных свойствах.

Представляется важным выявление в ответственных конструкциях не самих дефектов, а деградиационных процессов на более ранних стадиях сразу после изготовления или при эксплуатации. Например, величину коэффициента упругости (G -модуль сдвига) можно определить по результатам измерения скорости распространения продольных c_l или поперечных c_t упругих волн [1]:

$$G = \frac{\rho(1-2\nu)}{1-\nu} c_l^2;$$

$$G = \rho c_t^2,$$

где ρ – плотность материала среды, ν – коэффициент Пуассона.

Наиболее просто измерения скоростей распространения упругих волн могут быть проведены при сквозном прохождении волн через объект. Однако для определения модулей упругости материала по одному объекту необходимо измерять время

распространения, по крайней мере, двух типов (продольных и поперечных) упругих волн, излучение и регистрацию которых, чаще всего приходится осуществлять с помощью различных пьезопреобразователей. При регистрации же только продольных волн необходимо изготавливать объекты разных размеров, обеспечивающих измерения скорости, что замедляет и усложняет процесс измерений.

Методы резонансной акустической спектроскопии. Широкое распространение в диагностике целостности изделий строительных материалов и материалов промышленного производства нашли методы резонансной акустической спектроскопии (RAS), которые первоначально были развиты для измерения свойств кристаллов, например, определения теплоемкости кристаллов и нахождения фазовых переходов. Такие образцы относительно свободны от внутренних дефектов, поэтому механические потери в них малы. При этом каждый резонанс проявляется в виде острого пика. Положение каждого максимума в частотном спектре отклика определяет резонансную частоту, а ширина пика позволяет судить о добротности. Этот способ измерения резонансных частот и добротностей продолжает широко использоваться [2].

Подробное описание методов RAS и примеры их применения можно найти в [2-4]. Высокая точность метода обусловила его популярность и использование для решения широкого круга проблем. Например, RAS применяется для анализа механизмов диссипации в твердом теле [5], фазовых переходов в сверхпроводящих материалах [6], подвижности дислокаций в кристаллической решетке [7], структуры поликристаллических тел [8] и композитов [9], влияния способа обработки материала на его микроструктуру [10], модулей упругости третьего порядка [11] и для оценки размера зерен в структурно-неоднородной среде [12]. Одной из важнейших областей использования RAS является неразрушающий контроль материалов [13-15].

Резонансный метод основан на возбуждении в изделиях постоянной толщины незатухающих УЗ-колебаний и определении частот, на которых имеют место резонансы этих колебаний. Различие волн обусловлено различными свойствами материала (в т. ч. геометрическими). Резонансная акустическая спектроскопия получила повсеместное распространение как метод измерения тензора упругости образцов.

Согласно волновой теории удара скорость распространения упругих деформаций в теле зависит от механических свойств материала и равна скорости звука в материале. При ударе, деформации и разрушения наступают при объемных нагрузках меньше статических, вследствие того, что нагрузки не перераспределяются на весь объем тела из-за конечности скорости передачи механических деформаций. Принято считать, что деформации распространяются в материале со скоростью звука [16].

В теории упругих волн показано, что на границе раздела двух сред при отражении может образоваться либо узел, либо пучность: это зависит от соотношения плотностей сред. Если среда, от которой происходит отражение, более плотная, чем среда, в которой распространяется волна, то на границе образуется узел. Если среда, от которой происходит отражение, менее плотная, чем та, в которой распространяется волна, то на границе возникает пучность. Образование узла на границе при отражении от более плотной среды объясняется тем, что волна, отражаясь от более плотной среды, меняет свою фазу на противоположную. Тогда у границы складываются колебания противоположных направлений, что ведет к образованию узла. Поскольку фаза волны меняется на противоположную на расстоянии половины длины волны, то это явление называют «потерей полуволны при отражении». Отражаясь от менее плотной среды, волна не меняет фазы в месте отражения, поэтому «потери полуволны» не происходит.

Благодаря этому фаза падающей и отраженной волн одинакова, и в этом месте получается пучность в результате сложения колебаний с одинаковыми фазами.

В недавней работе одного из авторов [17] для определения резонансных частот и добротности в задачах акустической спектроскопии было предложено использовать согласованную фильтрацию экспериментальных данных. В работе [18] было показано, что этот метод позволяет достичь высокой точности измерений модулей упругости, в том числе и в случаях, когда стандартный метод (поиск пиков) использовать невозможно.

На рисунке 1 приведены результаты регистрации затухающих колебаний в образце бетона до и перед разрушением [19].

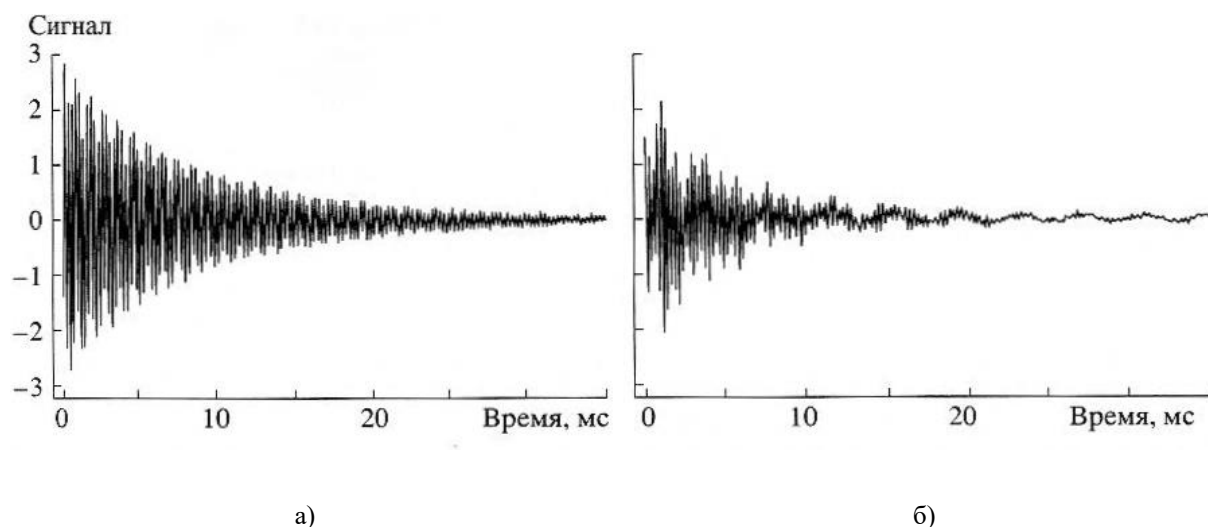


Рис. 1. Отклик образцов бетона на удар молотком:
а) – образец без дефектов, б) – непосредственно перед разрушением

Как видно из графиков откликов, резонансные колебания перед разрушением претерпевают существенные изменения: - меняется характер (добротность резонатора) затухания и появляются волны с новыми частотами.

Таким образом, при исследованиях упругих свойств изделий методом RAS в каждом конкретном измерении нужно решить несколько принципиальных вопросов - определить метод возбуждения, способ регистрации упругих волн и методику определения параметров среды. Чрезвычайно важным представляется также анализ частотных характеристик генерируемых при этом резонансных волн. В целом эти мероприятия требуют проведения предварительной паспортизации и последующего периодического контроля механических свойств изделий в процессе эксплуатации.

Как правило, резонансные частоты колебаний исследуемого образца неизвестны и возникает необходимость или их подбирать, или сразу генерировать в широком частотном диапазоне. Существует эмпирический критерий применимости формул классической механики и волновой теории:

$$\beta = \frac{t_y}{T},$$

где t_y – время удара, T – период собственных колебаний при ударе;

$$T = 2l\sqrt{\frac{v}{E}},$$

где l – длина образца, v – скорость распространения упругих волн напряжения, E – модуль Юнга.

При $\beta > 3...5$ для расчета применяют формулы классической механики, при $\beta < 3...5$ – формулы волновой теории. Одним из основных условий возбуждения резонансных колебаний неизвестного спектрального состава является длительность механического воздействия, вызывающие упругую деформацию. Таким условиям вполне удовлетворяют ударные нагрузки.

Изменение скоростей точек тела за время удара определяется методами общей теории удара, где в качестве меры механического взаимодействия тел при ударе вместо самой ударной силы F вводится её импульс за время удара τ , т.е. величина

$$S = \int_0^{\tau} F dt = F_{cp} \tau, \text{ которая имеет смысл «ударного импульса»}.$$

Можно подобрать такие начальные условия, например, силу удара, чтобы гармонические колебания после удара совершались частотами, которые соответствовали бы резонансу. В этом случае, маятнику сообщается потенциальная энергия смещением шарика на угол φ . Потенциальная энергия после отпускания шарика переходит в кинетическую, максимум которой наблюдается в точке равновесия, когда потенциальная энергия полностью переходит в кинетическую.

Результаты экспериментов. Рассмотрим результаты «упругого» взаимодействия стального шарика $m = 11,2$ г со стальной пластиной толщиной 30 мм. Шар, подвешенный на нити длиной $l = 23$ см, отклонился на $\varphi_1 = 35^\circ$. После соударения с пластиной в точке равновесия угол отклонения составил $\varphi_2 = 20^\circ$. Измеренное время соударения составило $\tau = 45$ мкс. Среднее значение силы удара составило $F_{cp} = 1.1 \cdot 10^3$ Н·м.

Предположение о том, что скорость упругой деформации равна скорости звука в материале, неверно. В действительности скорость намного (в 20 – 400 раз) меньше скорости звука в материале. Это происходит из-за зернистого строения материалов. Металлы, как известно, имеют зернистое, поликристаллическое строение. Образец представляет собой мельчайшие гранулы кристаллов (зерна) связанных между собой твердым раствором. Так, скорость звука из справочников – это скорость звука в кристаллах и, соответственно, скорости деформации намного ниже. При частично упругом ударе импульс системы соударяющихся тел после удара меньше чем был до удара. Коэффициент восстановления – в теории удара, величина, зависящая от физических свойств соударяющихся тел и определяющая, какая доля начальной относительной скорости этих тел восстанавливается к концу удара. Коэффициент характеризует потери механической энергии соударяющихся тел вследствие появления в них остаточных деформаций и их нагревания [20].

Таким образом, в результате воздействия стального шара с $S \approx 50$ Н·с в пластине возникли упругие колебания с энергией $W = 30,2$ Дж. Коэффициент восстановления при этом составил $k = 0,57$. Исходя из приведенных результатов ясно, что для практического использования необходимо разрабатывать ударник с контролируемыми параметрами (сила удара, ударный импульс и т.д.).

Осциллограмма резонансных колебаний, возникших в пластине приведена на рисунке 2. Регистрация сигнала от пьезоэлектрического преобразователя производилась с помощью цифрового осциллографа DSO6102A фирмы Agilent technologies.

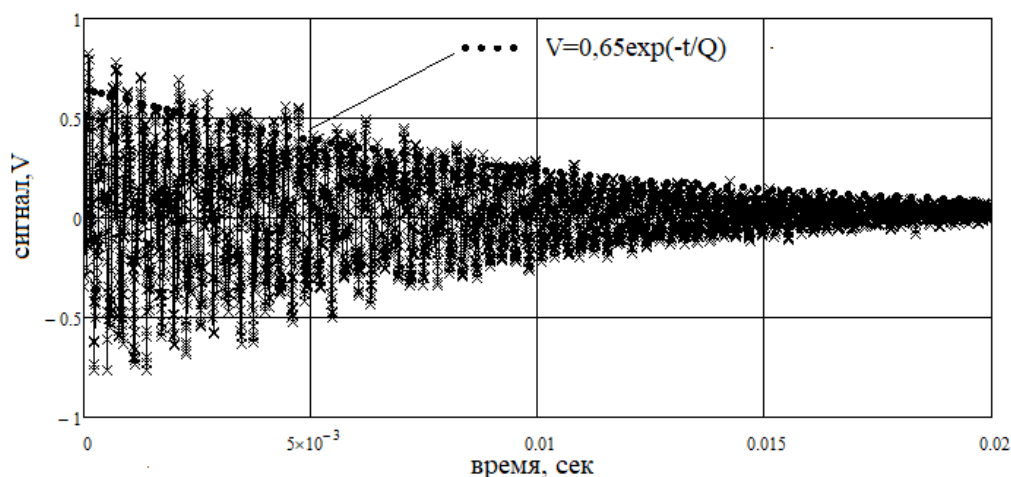


Рис. 2. Осциллограмма резонансных колебаний в стальной пластине после ударного воздействия

Из осциллограммы следует, что колебания носят резонансный характер и длительность колебаний существенно больше $\tau = 45 \text{ мс}$. Характер затухания вполне удовлетворительно описывается соотношением $V = V_0 \exp(-t/Q)$, что позволяет определить время затухания $t \approx 0.12 \text{ с}$. Однако, эти затухающие колебания являются суммой нескольких (рис. 3), частоты которых можно получить при использовании фильтров или разложением на гармонические преобразованием Фурье.

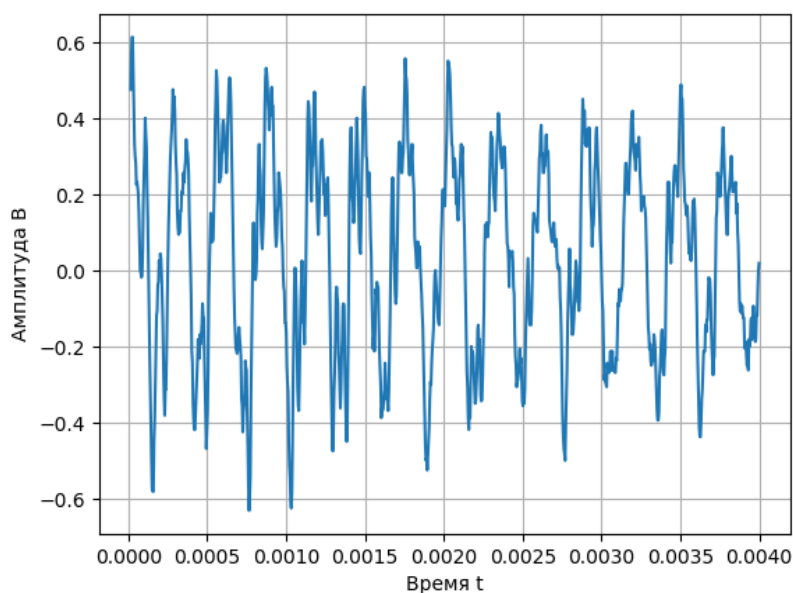


Рис. 3. Фрагмент осциллограммы в интервале $0-4 \cdot 10^{-3}$ сек

В результате обработки полученных осциллограмм методом БПФ в интервале $0 \div 120 \text{ кГц}$ были выявлены резонансные частоты при 3,4; 11,5; 13; 22,4 и 25,8 кГц (рис.4).

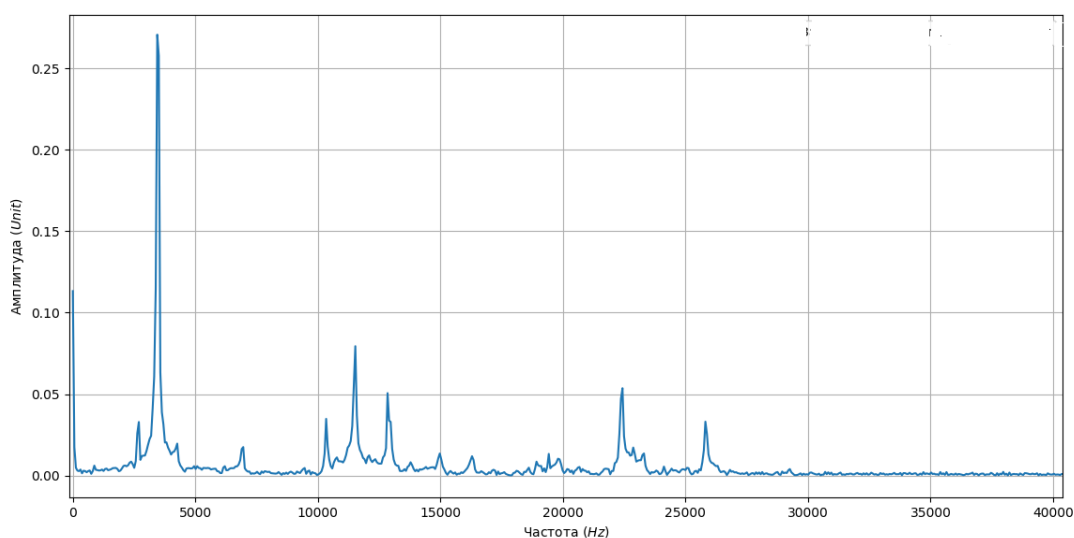


Рис. 4. Амплитудно – частотная зависимость резонансных колебаний стальной пластины при ударной нагрузке

При использовании преобразования Фурье величины анализируемых частот определяется условиями выбора интервала данных осциллограмм («окна») полученных цифровым осциллографом. Основной набор генерируемых частот лежит в существенно меньшем диапазоне до 30кГц. Выбрав среднее значение времени окна в преобразовании Фурье в работе получены зависимости амплитуд резонансных колебаний стальной пластины после проведения ударной нагрузки (рис. 5).

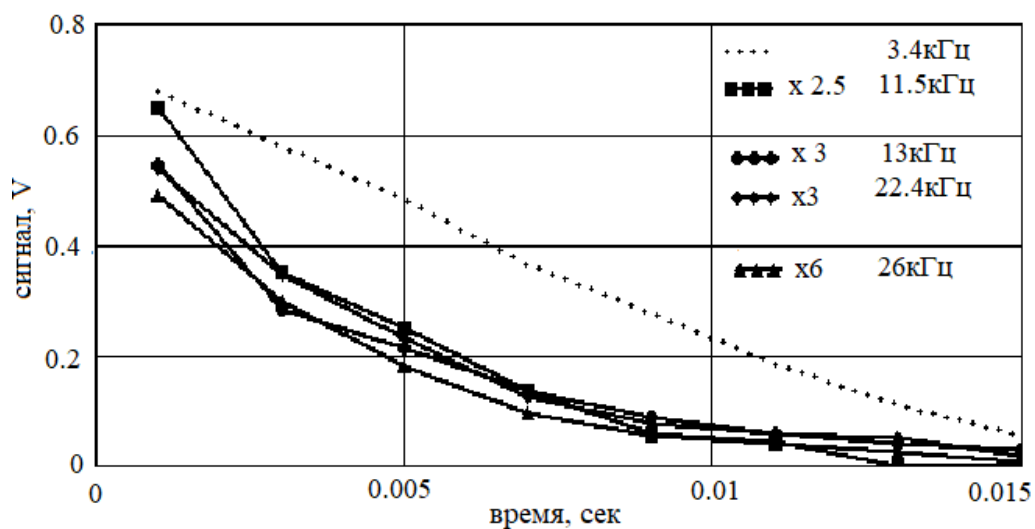


Рис. 5. Затухание упругих волн в стальной пластине после ударной нагрузки

Для сравнения спада амплитуд со временем максимумы резонансных колебаний приведены к одинаковому начальному значению. Множители приведены на рис.5. Как видно из графиков затухание гармоник носит экспоненциальный характер со временем релаксации $t \approx 5 \cdot 10^{-3}$ с. Низкочастотная волна, имеющая наибольшую амплитуду в момент генерации, спадает линейно. Кроме того, некоторые пики частот меняют свою форму, но это в работе не анализировалось.

Выводы. Таким образом, полученные результаты позволяют при рассмотренном комплексе действий провести анализ свойств упругих тел, как акустического резонатора. Предполагается, что каждая ответственная деталь или узел предварительно должны быть паспортизированы и постоянно контролироваться в процессе эксплуатации. Причем такие устройства могут быть использованы для разработки автоматизированных систем контроля надежности оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ермолов И. Н. Теория и практика ультразвукового контроля / И. Н. Ермолов. – М.: Машиностроение, 1981. – 240 с.
2. Migliori A., Sarrao J. L. Resonant Ultrasound Spectroscopy / A. Migliori, J. L. Sarrao. – John Wiley & Sons, Inc., 1997. – 202 p.
3. Birch F. Velocity and attenuation from resonant vibrations of spheres of rock, glass, and steel / F. Birch // J. Geophys. Res. – 1975. – V. 80. – N° 5. – P. 756-764.
4. Maynard J. Resonant ultrasound spectroscopy / J. Maynard // Physics Today. – 1996. – V. 27. – P. 26-32.
5. Mason W. P., Marfurt K. J., Beshers D. N., Kuo J. T. Internal friction of metal spheres showing the effect of the anisotropy of the component metals / W. P. Mason, K. J. Marfurt, D. N. Beshers, J.T. Kuo // J. Acoust. Soc. Amer. – 1977. – V. 62. – P. 1206-1212.
6. Elastic constants and specific-heat measurements on single crystals of La₂CuO₄ / A. Migliori, W. M. Visscher, S. E. Brown S. [and other] // Phys. Rev. B. – 1990. – V. 41. – P. 2098-2101.
7. Cannelli G. Dynamics of hydrogen, oxygen, and dislocations in Yttrium by acoustic spectroscopy / G. Cannelli, R. Cantelli, F. Cordero, F. Trequattrini // Phys. Rev. B (Condens. Matter). – 1997. – V. 55. – P. 14865-14871.
8. Kielczynski P. J. Determination of texture coefficients in hexagonal polycrystalline aggregates with orthorhombic symmetry using ultrasounds / P. J. Kielczynski, A. Morean, J. F. Bussiere // J. Acoust. Soc. Amer. – 1994. – V. 95. – P. 813-827.
9. Vuorinen J. E. Elastic constants of an aluminum-alumina unidirectional composite / J. E. Vuorinen, R. B. Schwarz, C. McCullough // J. Acoust. Soc. Amer. – 2000. – V. 108. – P. 574-579.
10. Acoustic study of texture in polycrystalline brass / K. Foster, S. L. Fairburn, R. G. Leisure, S. Kim [and other] // J. Acoust. Soc. Amer. – 1999. – V. 105. – N° 5. – P. 2663-2668.
11. Isaak D. G. Elasticity of fused silica spheres under pressure using resonant ultrasound spectroscopy / D. G. Isaak, J. D. Carnes, O. L. Anderson, H. Oda // J. Acoust. Soc. Amer. – 1998. – V. 104. – P. 2200-2206.
12. Ogi H. Ultrasonic attenuation and grain-size evaluation using electromagnetic acoustic resonance / H. Ogi, M. Hirao, T. Honda // Acoust. Soc. Amer. – 1995. – V. 98. – P. 458-164.
13. Heyliger P. Detection of surface and subsurface flaws in homogeneous and composite solids by resonant ultrasound / P. Heyliger, H. Ledbetter // J. of Nondestr. Evaluation. – 1998. – V. 17. – No 2. – P. 79-87.
14. Valdes S.H.D. Delamination detection in composite laminates from variations of their modal characteristics / S.H.D. Valdes, C. Soutis // Sound Vibration. – 1999. – V. 228. – N° 1. – P. 1-9.
15. Ogi H. Mode-selective resonance ultrasound spectroscopy of a layered parallelepiped / H. Ogi, P. Heyliger, H. Ledbetter, S. Kim // J. Acoust. Soc. Amer. – 2000. – V. 108. – N° 6. – P. 2829-2834.
16. Таблицы физических величин / под ред. акад. И. К. Кикоина. – М.: Атомиздат. 1976. – 1007 с.
17. Лебедев А. В. Использование метода линейного прогнозирования в ультразвуковой спектроскопии образцов горных пород / А. В. Лебедев // Акуст. журн. 2002. – Т. 48. – N°3. – С. 381-389.
18. Лебедев А. В. Акустическая спектроскопия микроскопического разрушения образца гранита Westerly / А. В. Лебедев, В. В. Бредихин, И. А. Соустова, А. М. Сутин [и др.] // Институт прикладной физики РАН. – Препринт N° 588. – 2002. – С. 26-28.
19. Лебедев А. В. Резонансная акустическая спектроскопия при низких добротностях / А. В. Лебедев, Л. А. Островский, А. М. Сутин, И. А. Соустова [и др.] // Акуст. журнал. – 2003. – Т. 49. – N° 1. – С. 92-99.
20. Кочетков А. В. Некоторые вопросы теории удара / А. В. Кочетков, П. В. Федотов // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». – 2013. – N°5. – С. 1-15.

Поступила в редакцию 05.11.2020 г.

DETERMINATION OF PARAMETERS OF THE RESILIENT MEDIUM UNDER IMPACT

Timchenko V.I., Soroka V.A., Stupak V.A., Tretiakov I.A., Danilov V.V.

In this paper the possibility of using the acoustic resonance method to determine the parameters of an elastic medium is analyzed. The use of regulated conditions for the excitation of elastic vibrations and subsequent digital processing make it possible to determine the quality of technical products as the q-factor of an acoustic resonator.

Keywords: flaw detection, resonance spectroscopy, resiliency coefficient, resilient interaction, Fourier transform.

Тимченко Владимир Иванович

кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры радиофизики и инфокоммуникационных технологий ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», ДНР, г. Донецк.
E-mail: vlitim@mail.ru

Timchenko Vladimir Ivanovich

Candidate of Phisico-Mathematical Sciences, Docent, Associate Professor at Department of Radiophysics and Infocommunication Technologies of Donetsk National University, DPR, Donetsk.

Сорока Валентина Афанасьевна

кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры физики и физического материаловедения ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», ДНР, г. Макеевка.
E-mail: vasorokat1@mail.ru

Soroka Valentina Afanasevna

Candidate of Phisico-Mathematical Sciences, Docent, Associate Professor at Department of Physics and Physical Materials of Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture, DPR, Makeevka.

Ступак Владимир Аврамович

старший научный сотрудник кафедры радиофизики и инфокоммуникационных технологий ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», ДНР, г. Донецк.
E-mail: v.a.stupak.47@gmail.com

Stupak Vladimir Avramovich

Senior Researcher at Department of Radiophysics and Infocommunication Technologies of Donetsk National University, DPR, Donetsk.

Третьяков Игорь Александрович

заведующий учебной лабораторией кафедры радиофизики и инфокоммуникационных технологий ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», ДНР, г. Донецк.
E-mail: es75i@mail.ru

Tretiakov Igor Aleksandrovich

Head of laboratory at Department of Radiophysics and Infocommunication Technologies of Donetsk National University, DPR, Donetsk.

Данилов Владимир Васильевич

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой радиофизики и инфокоммуникационных технологий ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», 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, DPR, Donetsk.

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 004.031.6

ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ЛОКАЛИЗАЦИИ ИСТОЧНИКА ИЗЛУЧЕНИЯ

© 2020 *Рушечников Я.И., Данилов В.В., Борщевский С.В.*

В настоящей работе предлагаются методы и алгоритмы автоматизированной локализации оператора и системы радиомониторинга в капитальных строениях и помещениях с использованием микроконтроллерных систем в качестве сенсоров для измерения параметров мощности сигнала

Ключевые слова: микроконтроллеры ESP8266, WiFi RSSI, радиомониторинг, машинное обучение, логистическая регрессия.

Введение. Согласно источнику [1] к дополнительным функциям задач радиомониторинга относятся:

- Измерение плотности потока мощности радиосигналов.
- Пеленгование источников радиоизлучений (ИРИ) с произвольными видами модуляции.
- Определение положения стационарных и мобильных ИРИ на местности или в рамках контролируемого объекта.

Локализация местоположения ИРИ [2] реализуется при помощи следующих методов:

- Метод привода - основан на движении мобильного пеленгатора в зону расположения источника радиоизлучения по направлению пеленга.
- Квазистационарный метод — основан на получении нескольких отдельных измерений пеленгов из фиксированных точек на значительном удалении от объекта.
- Метод автоматического определения координат ИРИ в движении (с использованием сканирующего SDR приемника).

Последний пункт подразумевает определение координат комплекса радиомониторинга путём определения его положения в пространстве. В случае исследования радиообстановки на открытой местности можно использовать глобальные системы определения абсолютных координат (ГЛОНАСС или GPS). В случаях определения положения в помещении необходимо решать задачу локализации используя определение положения относительно заданных точек. К тому же данный автоматизированный механизм должен вносить минимальные искажения в сам процесс радиомониторинга (например, с использованием SDR систем).

Современные системы для решения задач локализации в помещениях. Так как в рамках помещения нет возможности обеспечить приемлемое качество работы систем глобального позиционирования, задачи локализации сводятся к определению координат относительно заданных точек (якорей). Этот подход имеет два способа получения относительных координат:

- Активное — локализация основана на анализе собственных отраженных сигналов (ультразвуковые радары, лидары).

● Пассивное — локализация основана на характеристиках движения от внешних источников (при этом система ничего не излучает).

Примером активного средства локализации является LIDAR (Light Identification Detection and Ranging) (рис. 1-2). Это оптико-механическое устройство, которое позволяет посредством облучения и приёма отраженных волн выстраивать в режиме реального времени картину окружающей обстановки.



Рис. 1. Внешний вид лидара

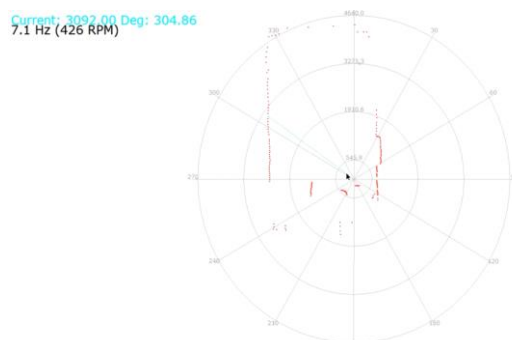


Рис. 2. Визуализация работы лидара

К недостаткам подобного рода устройств можно отнести относительно высокую стоимость и конструктивные особенности (наличие механических движущихся частей). К достоинствам — скорость работы и точность локализационной информации.

Примером устройств пассивной локализации можно привести Rozyx. Это Arduino-совместимый комплект оборудования для позиционирования в помещении. Другими словами, он позволяет движущимся объектам понимать своё положение в пространстве при помощи якорей (специальных излучающих станций). Поскольку якоря предоставляют несколько сигналов для сравнения, Rozyx предоставляет точные и конкретные данные о местоположении с точностью до 10 сантиметров.

К недостаткам подобной системы можно отнести стоимость устройств (их должно быть 5 — базовая станция и 4 якоря привязки). Так же к недостаткам можно отнести тот факт, что якоря имеют фиксированные частоты вещания, которые нельзя изменить программисту, что в свою очередь может внести неточности в процесс радиомониторинга (но этот недостаток относится только к задачам поиска ИРИ). К достоинствам — высокую скорость работы, а также высокую точность локализации.

Постановка задачи. Целью настоящей работы является обоснование и построение функциональной схемы устройства локализации для системы радиомониторинга. Также к целям можно отнести проектирование алгоритма по обработке данных от подсистем системы локализации.

В качестве основы для проведения исследований был выбран пассивный алгоритм локализации, при котором в углы контролируемого помещения устанавливаются маяки (активные метки) и по относительной мощности сигнала доходящего до оператора можно с определенной точностью получать линейные расстояния до объекта. Архитектура подобного решения представлена на рисунке 3.

После обоснования и выбора архитектуры системы локализации необходим выбор технологии, посредством которой можно получать параметры системы (в том числе и относительную мощность). В качестве такой технологии был выбран беспроводной протокол 802.11 (WiFi) и его информационный параметр RSSI (от англ. received signal strength indicator — полная мощность принимаемого приёмником сигнала). При измерении RSSI получается относительный уровень мощности после

любой возможной потери на уровне антенн, кабеля и передающей среды. Данный информационный параметр измеряется по логарифмической шкале в dbm (децибел милливатт) и имеет близкую к линейной зависимость (на пространствах без препятствий) между относительной мощностью и расстоянием.



Рис. 3. Архитектурное представление системы локализации

Так как RSSI является нелинейным параметром, а также нет устройств и программного обеспечения для перевода относительной мощности в расстояние, необходимо решение следующих задач:

- Выбор и обоснование аппаратных платформ (как якорей, которые вещают RSSI, так и станций приёма).
- Выбор и обоснование наиболее качественного алгоритма перевода данных RSSI в расстояние.
- Программирование и тестирование алгоритма, который на основании двух точек привязки будет получать позицию оператора радиокomплекса в помещении.

Выбор и обоснование аппаратной платформы. Так как за основу была принята технология IEEE 802.11 (WiFi), возникает необходимость подбора аппаратного обеспечения для получения данных RSSI.

В силу того, что беспроводные системы данного стандарта широко распространены, было принято решение получать сигнальные данные при помощи сетевой карты ноутбука. Механизм работы операционной системы компьютера подразумевает постоянное сканирующее прослушивание беспроводного эфира в рамках частот стандарта 802.11 (а это от 2.4 до 2.5 ГГц). Этот механизм работает в независимости от того, подключен компьютер с wifi интерфейсом к беспроводной сети или нет. Именно в этом механизме и кроется недостаток использования в качестве узла для считывания сетевого интерфейса компьютера. Дело в том, что такт сканирования занимает не константное время (в основном от 4 до 5 секунд), а это в свою очередь негативно скажется на производительности системы. Быстро же можно получить параметр RSSI лишь от той точки, к которой в данный момент подключена система. Но если вернуться к архитектуре, представленной на Рис. 3, то для получения всех параметров RSSI необходимо динамически переключаться между точками WiFi, что занимает ещё большее время.

В связи с возникшими проблемами было принято решение использовать WiFi совместимые микроконтроллеры на базе микросхемы esp8266 как в качестве

вещающих точек (якорей) так и в качестве сканирующей платформы. Для того чтобы программно-аппаратная платформа esp8266 могла работать в качестве сканирующего устройства необходимо запрограммировать алгоритм, представленный на рисунке 4. Для реализации функций вещающего устройства (якоря) необходимо использовать алгоритм, представленный на рисунке 5.



Рис. 4. Алгоритм сканера

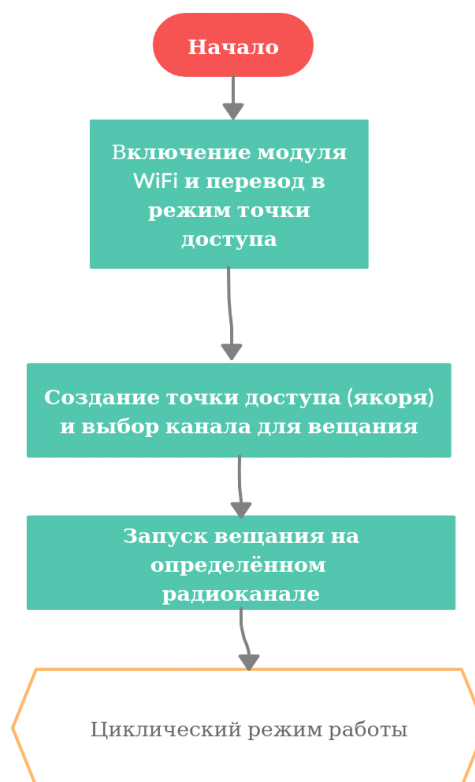


Рис. 5. Алгоритм работы якоря

Выбор и обоснование алгоритма перевода данных RSSI в расстояние.

Основная проблема потребительской электроники, и систем на базе микроконтроллера esp8266 состоит в том, что измеренные параметры (например, RSSI) довольно неточные, и разброс параметров может не даёт однозначного закона перевода относительной мощности сигнала в расстояние. На самом деле в задачи микроконтроллера входит лишь соответствие нормам стандарта 802.11 и контроллер ни в коей мере не является измерительным устройством.

В условиях подобной неопределённости было принято решение использовать алгоритмы машинного обучения для получения закона перевода мощности в расстояние, а это в свою очередь рождает несколько подзадач:

- Сбор и накопление обучающей выборки.
- Выбор алгоритма машинного обучения (или тестирование данных для обучения на нескольких алгоритмах).
- Обучение алгоритма и проверка его на реальных данных.

Сбор и накопление обучающей выборки. Так как необходимые микроконтроллерные системы, а также алгоритмы их работы были проработаны на предыдущем этапе для сбора и накопления информации была выбрана следующая методика:

- Устройство якорь и устройство приёмник располагаются на небольшом расстоянии друг от друга (на первой итерации расстояние составляет 5 см).

- Запускается программа, реализующая алгоритм сбора 100 значений относительной мощности. Данный этап довольно длительный по времени, так как один такт выбора мощности составляет около 2 секунд.

- По полученной выборке строится график разброса данных и вычисляется медиана по данным. Это помогает определить насколько далеко находится среднее значение от минимума и максимума обнаруженных разбросов мощности. Кроме того, эта выборка в 100 элементов преобразуется в ряд из нескольких наиболее часто встречающихся значений мощности. Эта статистическая обработка позволит вносить меньшую погрешность в алгоритм машинного обучения в будущем.

- Далее микроконтроллерная система (приёмник) передвигается относительно якоря на определённое линейное расстояние (в рамках представленного эксперимента сдвиг составляет 5 см). И испытания повторяются заново. Первые итерации измерений представлены на рисунках 6-7.



Рис. 6. Вид измерительного стенда на первой итерации испытаний



Рис. 7. Вид измерительного стенда после изменения положения приёмника

Процесс накопления данных был закончен по достижению точки в 2 метра. Полученные данные представляют собой статистическую выборку с наиболее часто встречающимися значениями мощности на каждой измеряемой точке. Если не проводить статистический анализ на этапе сбора данных (особенно в случае, когда в данных есть выбросы), может возникнуть ситуация неопределённости, что в свою очередь негативно повлияет на результаты машинного обучения. Кроме того, проведение статистических исследований на данных позволяет визуализировать выбросы и предварительно оценить их возможное влияние на процесс машинного обучения. Статистический анализ представлен на рисунке 8.



Рис. 8. Визуализация данных, полученных на 40 см от источника

После визуализации и статистической обработки данных получается сокращенная выборка (табл. 1) следующего вида:

Таблица 1. Статистически обработанные данные от приёмника

Signal level	Count	Distance
-35	54	10
-36	45	10
-34	1	10...

В таблице 1 заголовки столбцов обозначают следующее:

Signal level - относительная мощность сигнала;

Count - количество раз, которые данная мощность встречалась при эксперименте;

Distance - расстояние между приёмником и источником.

Выбор алгоритма машинного обучения. Машинное обучение представляет собой область искусственного интеллекта, которая занимается алгоритмами способными обучаться на переданных в алгоритм данных и выводить результаты обучения в виде вероятности (в случае алгоритмов классификации) или числовой величины (в случае алгоритмов регрессии).

Прежде чем начать передавать данные в алгоритм машинного обучения необходимо построить корреляционную матрицу, которая позволит понять, есть ли зависимости между столбцами. Если такой зависимости не будет, то машинное обучение не имеет смысла.

Математическая реализация матрицы корреляции имеет следующий вид:

$$r_{xy} = \frac{N \sum_{i=1}^N X_i Y_i - \left(\sum_{i=1}^N X_i \right) \cdot \left(\sum_{i=1}^N Y_i \right)}{\sqrt{\left(N \sum_{i=1}^N X_i^2 - \left(\sum_{i=1}^N X_i \right)^2 \right) \cdot \left(N \sum_{i=1}^N Y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^N Y_i \right)^2 \right)}}$$

где N – размерность выборки, X и Y – столбцы которые сравниваются.

Корреляционная матрица для измеренных данных представлена на рисунке 10 и имеет следующий вид:

	Signal level Count Distance		
Signal level	1.00	0.32	-0.81
Count	0.32	1.00	-0.31
Distance	-0.81	-0.31	1.00

Рис. 10. Корреляционная матрица

Из матрицы видно, что между расстоянием (Distance) и относительной мощностью (Signal level) есть отрицательная корреляция, а это значит, что с ростом расстояния мощность падает. Результат в виде (-0.81) показывает, что эти два набора данных коррелированы не линейно, но величина корреляции достаточна, чтоб при помощи алгоритмов машинного обучения получить данные приближенные к реальности.

После подтверждения гипотезы пригодности данных для машинного обучения следует выбор того самого алгоритма, который будет предсказывать расстояние по относительной мощности. Для данной задачи выбор алгоритма очевиден — это линейная регрессия, так как суть задачи - это прогнозирование непрерывной переменной.

Оценка неизвестных параметров линейной регрессионной модели выполняется по уравнению $Y = a \cdot X + b$, где:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{cp})(y_i - y_{cp})}{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{cp})^2};$$

$$b = y_{cp} - ax_{cp}.$$

Благодаря тому, что аппарат машинного обучения активно развивается можно использовать несколько моделей, ядром которых является линейная регрессия. Кроме того, современные средства (к примеру библиотека машинного обучения python sklearn) позволяют провести несколько этапов обучения на разных алгоритмах, и выбрать алгоритм, который предсказывает наилучшие коэффициенты. В отношении

текущей задачи таким алгоритмом выступил SVC (C-Support Vector Classification) ядром линейной регрессии. Он показал результаты наиболее схожий на данные, по которым он обучался. По сути это классификатор с функциями регрессии.

Кроме того, немаловажным этапом является правильное представление данных в алгоритм. Для этого необходимо специальным образом сформировать две обучающие выборки: тестовую и тренировочную. Распределение в этих выборках должно быть случайным.

В результате машинного обучения сгенерировался объект (предиктор) который по поступающим на вход алгоритма относительным мощностям получает приблизительное расстояние. Оценка качества алгоритма выполнялась как при помощи тестовой выборки (данные были сгенерированы в процессе сбора обучающей информации), так и при помощи информации непосредственно от WiFi приёмника. В первом случае основная метрика классификационной регрессии (рис. 11) была следующей:

```
[ ] 1 print(classification_report(y_test, y_pred))
```

	precision	recall	f1-score	support
30	1.00	1.00	1.00	1
60	0.00	0.00	0.00	2
70	0.00	0.00	0.00	2
100	1.00	1.00	1.00	3
110	0.00	0.00	0.00	0
accuracy	Точность		0.50	8
macro avg	0.40	0.40	0.40	8
weighted avg	0.50	0.50	0.50	8

Рис. 11. Вывод отчёта о результатах машинного обучения

К сожалению, таких показателей точности недостаточно чтобы каждый раз абсолютно верно предсказывать расстояние от источника до приёмника, но если при локализации учитывать предыдущие измерения, то алгоритм машинного обучения совместно с регрессионным параметром позволит несколько снизить ошибку.

Выводы. В данной работе было проведено исследование возможности получения линейного расстояния от вещающего устройства (якоря) до приемника, при этом использовалась широко распространённая система на базе микроконтроллера esp8266, а также алгоритмы машинного обучения, которые позволяют описать закон перевода мощность передатчика в расстояние. Разработка данной системы позволит построить подсистему локализации оператора с радио комплексом в рамках помещения, что в свою очередь решит одну из задач радиомониторинга, а локализацию источника радиоизлучения и построение тепловой карты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Костык И. Н. Сравнение Эффективности позиционирования для сетей Bluetooth, Wi-Fi и ZigBee / И. Н. Костык, А. Е. Кучерявый, А. В. Прокопьев // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2015. – № 2. – С. 53–61.
2. Рушечников Я. И. Информационная технология локализации источника радиоизлучения на основе программно-определяемой радиосистемы / Я. И. Рушечников, В. В. Данилов // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. – 2020. – № 2. – С. 48–53.

3. Тамбиева Д. Т. Решение задач радиомониторинга / Д. Т. Тамбиева // Современные наукоемкие технологии. – 2006. – № 6. – С. 63–64.
4. Эволюция исследований в области беспроводных сенсорных сетей / Р. В. Киричек, А. Е. Кучерявый, А. И. Парамонов, А. В. Прокопьев // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2014. – № 4. – С. 29–41.

Поступила в редакцию 14.10.2020 г.

INFORMATION TECHNOLOGY OF AUTOMATED LOCALIZATION OF THE RADIATION SOURCE

Rushechnikov Ya.I., Danilov V.V., Borshchevskii S.V.

This paper proposes methods and algorithms for automated localization of an operator and a radio monitoring system in capital buildings and premises using microcontroller systems as sensors for measuring signal power parameters.

Keywords: ESP8266 microcontrollers, WiFi RSSI, radio monitoring, machine learning, logistic regression.

Рушечников Ярослав Иванович

аспирант кафедры радиофизики и инфокоммуникационных технологий ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»,
ДНР, г. Донецк.
E-mail: yaraslavrushechnikov@gmail.com

Rushechnikov Yaroslav Ivanovich

Postgraduate student at Department of Radiophysics and Infocommunication Technologies of Donetsk National University,
DPR, Donetsk.

Данилов Владимир Васильевич

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

Danilov Vladimir Vasilevich

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

Борщевский Сергей Васильевич

доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет»,
ДНР, г. Донецк.
E-mail: borshevskiy@mail.ru

Borshchevskii Sergei Vasilevich

Doctor of Engineering Sciences, Full Professor, Vice-Rector of Scientific Work of Donetsk National Technical University,
DPR, Donetsk.

УДК 681.5:621

СИНТЕЗ СТАТИЧЕСКОГО КОМПЕНСАТОРА ДЛЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ УРОВНЕМ МЕТАЛЛА В КРИСТАЛЛИЗАТОРЕ МНЛЗ

© 2020 Волуева О.С.

В настоящей работе выполнен синтез статического компенсатора для комбинированной структуры управления уровнем металла в кристаллизаторе машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) на основе принципа инвариантности. Применение данного типа компенсатора позволяет значительно снизить отклонение уровня металла в кристаллизаторе МНЛЗ в условиях изменения скорости вытягивания в нестационарных режимах работы по сравнению с системами, построенными на основе принципа управления по отклонению.

Ключевые слова: система автоматического управления, комбинированное управление, принцип инвариантности, статический компенсатор, нестационарный режим разлива.

Введение. Одним из определяющих факторов в формировании качественной непрерывно-литой заготовки, является стабильность процессов, протекающих в кристаллизаторе МНЛЗ. Значительные колебания жидкого металла нарушают стабильность охлаждения слитка в кристаллизаторе, изменяют условия кристаллизации и сказываются на качестве заготовки, а также могут привести к аварийным ситуациям и, как следствие, экономическим потерям. В связи с этим учет факторов, влияющих на стабильность уровня металла в кристаллизаторе, а также методов их оценки и компенсации за счет совершенствования системы автоматического управления стабилизацией уровня металла в кристаллизаторе, является актуальным направлением.

Постановка задачи. Наиболее существенным возмущением, оказывающим влияние на изменение уровня металла в кристаллизаторе МНЛЗ, является скорость вытягивания заготовки тянущей клетью, которая располагается в зоне, где заготовка уже практически полностью затвердела. Скорость вытягивания в процессе разлива в основном изменяется в соответствии с технологическим регламентом, то есть закон ее изменения заранее известен. Следовательно, влияние данного параметра на регулируемую величину может быть в той или иной степени скомпенсировано. В таком случае рациональным является использование принципа комбинированного управления.

Целью работы является определение параметров компенсатора для комбинированной системы автоматического управления стабилизацией уровня металла в нестационарных режимах литья заготовок в заданных диапазонах изменения возмущающего воздействия.

Решение задачи. Структура комбинированной системы автоматического управления уровнем металла в кристаллизаторе МНЛЗ, приведенная на рис. 1, обоснована в работах [1, 3]. В работах [2, 6] выполнена настройка параметров регуляторов и коэффициента компенсации контура интегрального насыщения.

При синтезе компенсирующих устройств применяется принцип инвариантности, который заключается в том, что отклонение выходной переменной от заданного значения должно быть равно нулю при любых задающих или возмущающих воздействиях.

Уменьшить влияние внешних возмущений возможно двумя способами:

- 1) увеличивать петлевое усиление контура с обратной связью по регулируемой переменной;
- 2) найти обратную модель по каналу «точка приложения сигнала от компенсатора – регулируемая переменная».

Повышение коэффициента передачи приведет к снижению запасов устойчивости и ухудшению качества переходных процессов. При использовании второго способа, реализация обратной динамики объекта управления является сложной задачей, поэтому достижение полной инвариантности в реальных системах управления практически невозможно. По этим причинам обычно ограничиваются частичной инвариантностью или используют статические модели, что существенно упрощает задачу нахождения обратной модели объекта управления.

Компенсация неконтролируемых возмущений реализуется при помощи обратной связи по регулируемой переменной – уровень металла в кристаллизаторе.

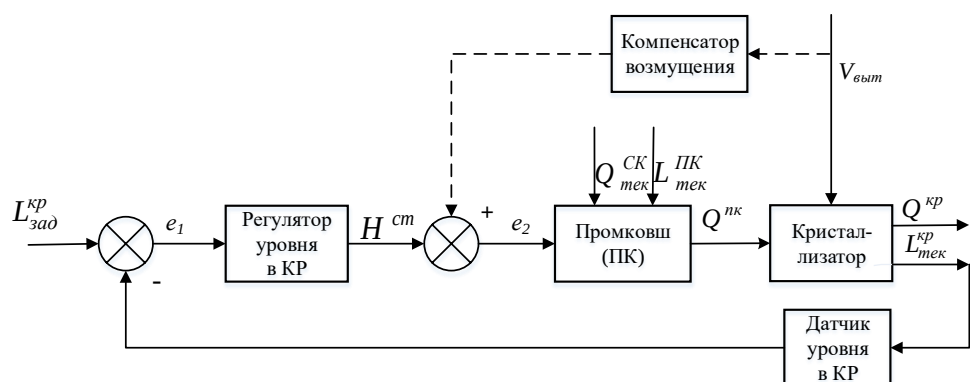


Рис. 1. Функциональная схема комбинированной системы регулирования уровня металла в кристаллизаторе

Для нахождения структуры и параметров компенсатора используется структурная схема, представленная на рис. 2.

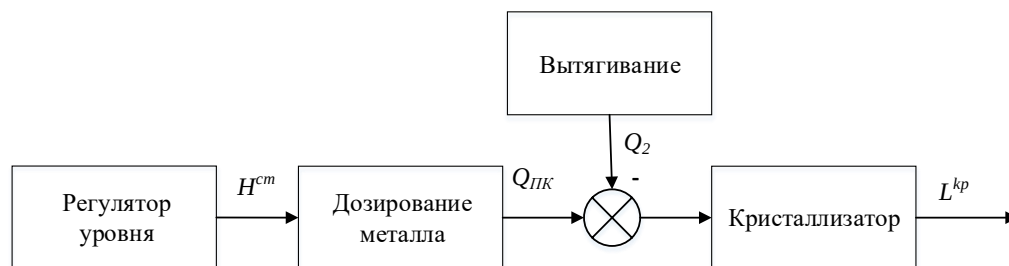


Рис. 2. Структурная схема для определения параметров компенсатора

Передачная функция компенсатора в соответствии с принципом инвариантности может быть определена следующим образом:

$$W_k(s) = -\frac{W_{\text{воз}}(s)}{W_{\text{упр}}(s)}, \quad (1)$$

где $W_{\text{воз}}(s)$ – передаточная функция по каналу «скорость вытягивания – уровень металла»;

$W_{\text{упр}}(s)$ – передаточная функция по каналу «сигнал управления регулятора уровня – уровень металла».

Для нахождения статического компенсатора, необходимо найти отношение коэффициентов передачи этих передаточных функций.

Применим структурную схему рис. 3 для определения передаточной функции по управлению $W_{упр}(s)$:

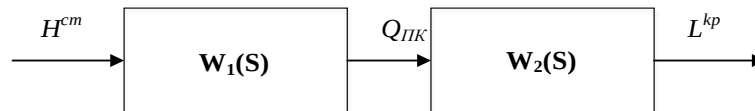


Рис. 3. Структурная схема для определения передаточной функции по управлению

$$W_{упр} = W_1(s) \cdot W_2(s), \quad (2)$$

где $W_1(s) = \frac{Q_{ПК}(s)}{H^{cm}(s)} = \frac{K_{cm}}{s}$, K_{cm} – коэффициент передачи стопорного затвора;

$$W_2(s) = \frac{L^{kp}(s)}{Q_{ПК}(s)} = \frac{1/S_{kp}}{s}. \quad (3)$$

Таким образом:

$$W_{упр}(s) = \frac{K_{cm}}{s} \cdot \frac{1/S_{kp}}{s} = \frac{K_{упр}}{s^2}, \quad K_{упр}(s) = \frac{K_{cm}}{S_{kp}}; \quad (4)$$

$$W_{воз}(s) = \frac{L^{kp}(s)}{V_{выт}(s)} = -\frac{1}{s}, \quad K_{воз} = -1. \quad (5)$$

Тогда в общем виде передаточная функция компенсатора будет иметь следующий вид:

$$W_k(s) = \frac{W_{воз}(s)}{W_{упр}(s)} = \frac{-1/s}{K_{упр}/s^2} = \frac{s}{K_{упр}}. \quad (6)$$

Очевидно, что динамический компенсатор (6) является физически нереализуемым, а статический компенсатор имеет коэффициент передачи:

$$K_k = \frac{K_{воз}}{K_{упр}}. \quad (7)$$

Для нахождения коэффициента $K_{упр}$ воспользуемся линеаризованными зависимостями: $S_C(H^{cm})$ – проходного сечения стопорного затвора от высоты поднятия стопора (рис. 4-а) и $Q_{ПК}(H^{cm}, L_{ПК})$ – расхода металла из промковша от высоты поднятия стопора и уровня металла в промковше (рис. 4-б). Коэффициенты передачи K_1 и K_2 определим как коэффициенты наклона приведенных прямых. Тогда:

$$K_{упр} = \frac{K_1 K_2}{S_{kp}}. \quad (8)$$

В процессе разливки в общем случае уровень металла в промковше зависит от баланса между поступлением металла из стальковша, и истечением металла в

кристаллизатор, которое зависит от изменений скорости вытягивания в соответствии с текущим режимом работы установки. Заданным значением уровня металла в промковше является $L_{ПК}=1.3$ м.

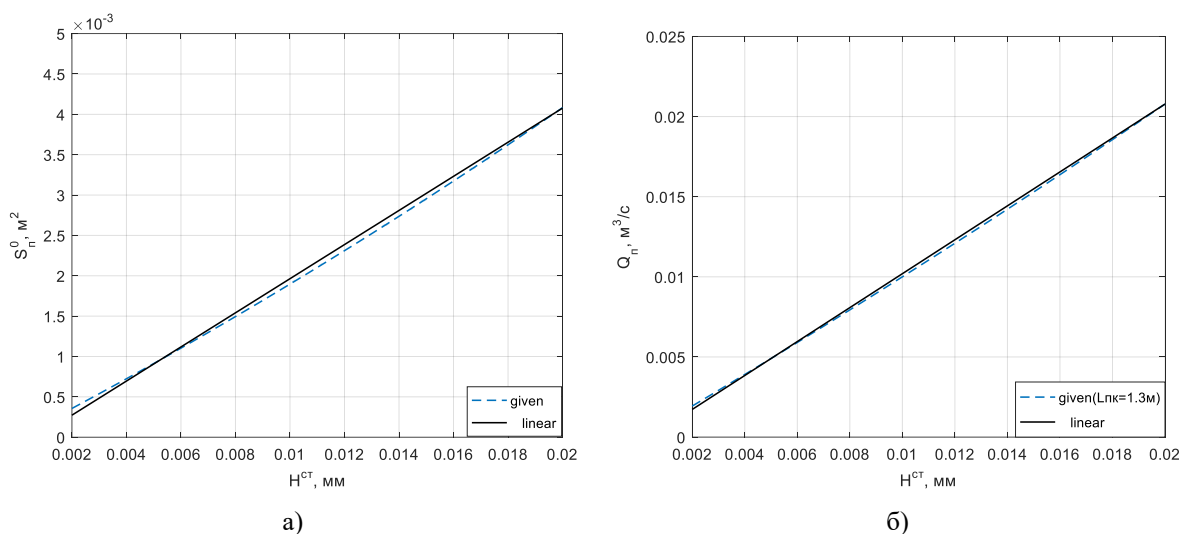


Рис. 4. Линеаризованные зависимости: а) - зависимость $S_C(H^{cm})$; б) - зависимость $Q_{ПК}(H^{cm})$, $L^{ПК} = 1.3$

Структурная схема моделирования замкнутой комбинированной системы управления со статическим компенсатором возмущения приведена на рис. 5 [1, 5].

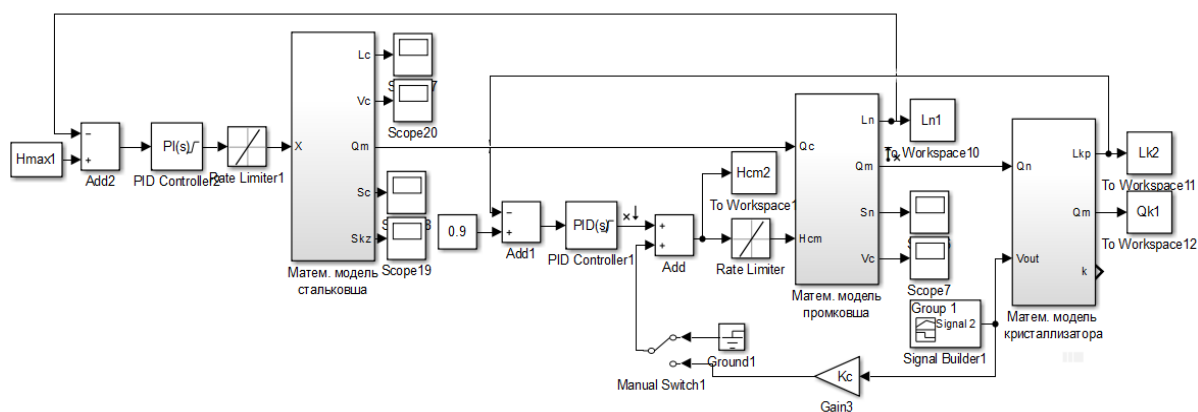


Рис. 5. Структурная схема моделирования комбинированной системы уровня металла в кристаллизаторе со статическим компенсатором

В процессе исследования скорость вытягивания заготовки изменялась по графику, представленному на рис. 6.

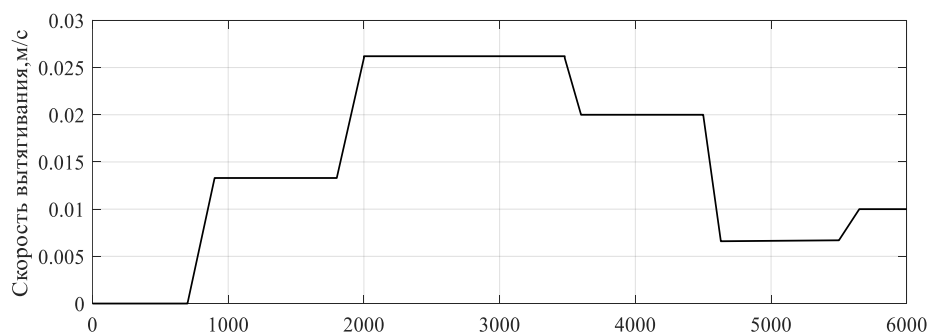


Рис. 6. Регламент изменения скорости вытягивания заготовки

Сравнительная характеристика переходных процессов в системе со статическим компенсатором при различных значениях коэффициента компенсации K_k с учетом действия возмущения по скорости вытягивания представлены на рис. 7.

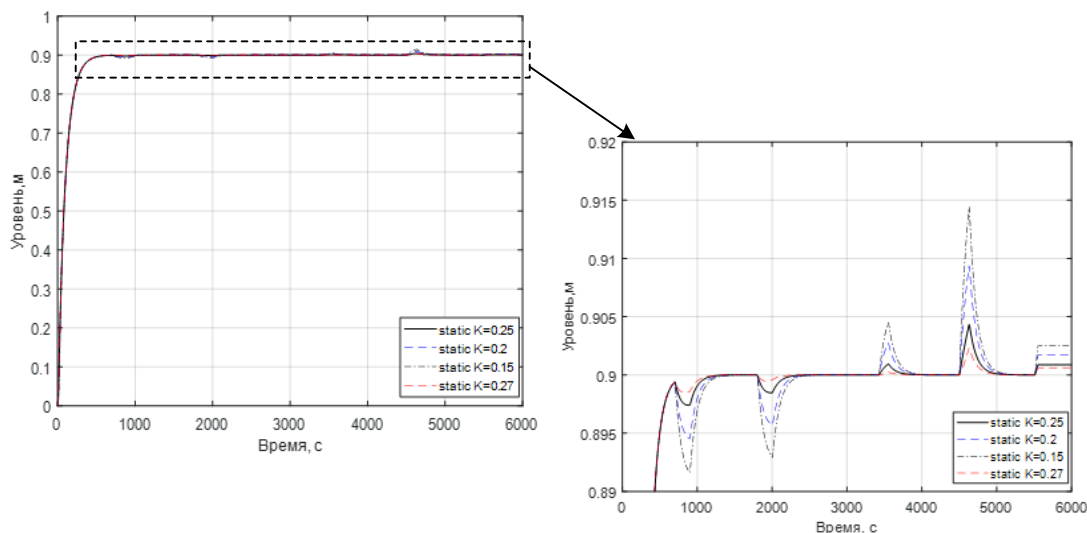


Рис. 7. Графики переходных процессов в системе со статическим компенсатором при различных значениях коэффициента компенсации K_k

На основе анализа полученных результатов можно сделать вывод, что использование комбинированной структуры системы управления позволяет значительно уменьшить амплитуду отклонения уровня от заданного по сравнению с существующими системами, построенными только на основе принципа обратной связи.

Таким образом, модифицированная система управления позволяет решить задачу управления уровнем металла в кристаллизаторе МНЛЗ в условиях изменения скорости вытягивания в нестационарных режимах работы.

Выводы. Разработана модифицированная система автоматического управления уровнем металла в кристаллизаторе МНЛЗ, обладающая частичной инвариантностью по каналу возмущающего воздействия (изменение скорости вытягивания заготовки) за счет применения статического компенсатора с постоянным коэффициентом компенсации, обладающего простой структурой. Установлено, что введение в структуру системы статического компенсатора возмущений позволяет достичь уменьшения степени отклонения уровня в 2-5 раз по сравнению с системой управления, построенной по принципу обратной связи в нестационарных режимах литья заготовок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волуева О. С. Комбинированная система управления уровнем металла в кристаллизаторе МНЛЗ / О. С. Волуева. // Збірник наукових праць Донецького інституту залізничного транспорту Української державної академії залізничного транспорту. – Донецьк : ДонІЗТ, 2013. – Вип. 34. – С.186–192.
2. Волуева О. С. Компенсация эффекта интегрального насыщения регулятора в системе управления уровнем металла в кристаллизаторе МНЛЗ / О. С. Волуева // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. – Донецьк : ДонНТУ, 2013. – Вип. 2 (25). – С. 13–20.
3. Чернышев Н. Н. Модернизированная система автоматического регулирования уровнем металла в кристаллизаторе МНЛЗ / Н. Н. Чернышев, О. С. Волуева // Сучасні тенденції розвитку інформаційних технологій в науці, освіті та економіці : матеріали VIII Всеукраїнської науково-практичної конференції (м. Луганськ, 17 – 18 березня 2014 р.). – Луганськ : Вид-во ДЗ „ЛНУ імені Тараса Шевченка”, 2014. – С.122–124.

4. Чернышев Н. Н. Математическая модель изменения уровня жидкого металла на участке «стальковш-кристаллизатор» установки непрерывной разливки стали / Н. Н. Чернышев, О. С. Волуева // Завалишинские чтения 16, Санкт-Петербург, 11-15 апреля 2016 г. : сборник трудов конференции. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербург. гос. ун-т аэрокосмического приборостроения, 2016. – С. 278–283.
5. Чернышев Н. Н. Алгоритм настройки параметров регуляторов для стационарных и нестационарных режимов работы технологических установок / Н. Н. Чернышев, О. С. Волуева // Сборник научных трудов Донецкого института железнодорожного транспорта. – Донецк : ДонИЖТ, 2018. – № 50. – С. 15–21.

Поступила в редакцию 06.11.2020 г.

SYNTHESIS OF STATIC COMPENSATOR FOR MOLD LEVEL CONTROL SYSTEM OF CCM

Volueva O.S.

In this paper, the static compensator synthesis for a combined mold level control system of a continuous casting machine (CCM) on the invariance principle basis is considered. Application this type of compensator allows to significantly reduce the deviation of the mold level in the continuous caster caused by the conditions of the casting speed changes in non-stationary modes of cast, comparing with systems based on the feedback control principle.

Keywords: automatic control system, combined control, invariance principle, static compensator, non-stationary steel casting.

Волуева Ольга Сергеевна

кандидат технических наук, доцент кафедры
автоматики и телекоммуникаций ГОУ ВПО
«Донецкий национальный технический
университет»,
ДНР, г. Донецк.
E-mail: voluevaos_work@mail.ru

Volueva Olga Sergeevna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
of Donetsk National Technical University,
DPR, Donetsk.

УДК 004.352.242

ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАСФОКУСИРОВАННЫХ И СМАЗАННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

© 2020 Кислянский Г.Н., Нестругина Е.С.

В настоящей статье произведен сравнительный анализ различных методов восстановления расфокусированных и смазанных изображений, выбран наилучший метод для дальнейшего применения его в системах компьютерного зрения и улучшения качества распознавания движущихся объектов, выявлены соответствующие достоинства и недостатки, предложены решения и рекомендации для их устранения.

Ключевые слова: восстановление, цифровая обработка, слепая деконволюция, размытие, смазанные изображения, нейронная сеть.

Введение. Восстановление искаженных изображений является одной из наиболее интересных и важных проблем в задачах обработки изображений – как с практической, так и с теоретической точек зрения. Устранение размытия изображения важно во многих областях, от потребительских, например, создание более качественных фото и видео на смартфоне или камере, до промышленных систем аэрофотосъемки, наблюдения, управления движением, астрономии и дистанционного зондирования [1, 2, 3]. Кроме того, размытые изображения приведут к сбою многих современных прикладных систем компьютерного зрения, таких как обнаружение целей, слежение [4, 5, 6], классификация [7, 8] и распознавание (рис.1) [9], что приведет к серьезным последствиям. Если системы компьютерного зрения дообучать на смазанных кадрах, то падение метрик, в среднем, составляет 5%, если не дообучать – 15%. Эта ошибка может оказаться фатальной, например, в системах управления беспилотными автомобилями и в системах видеонаблюдения [10].

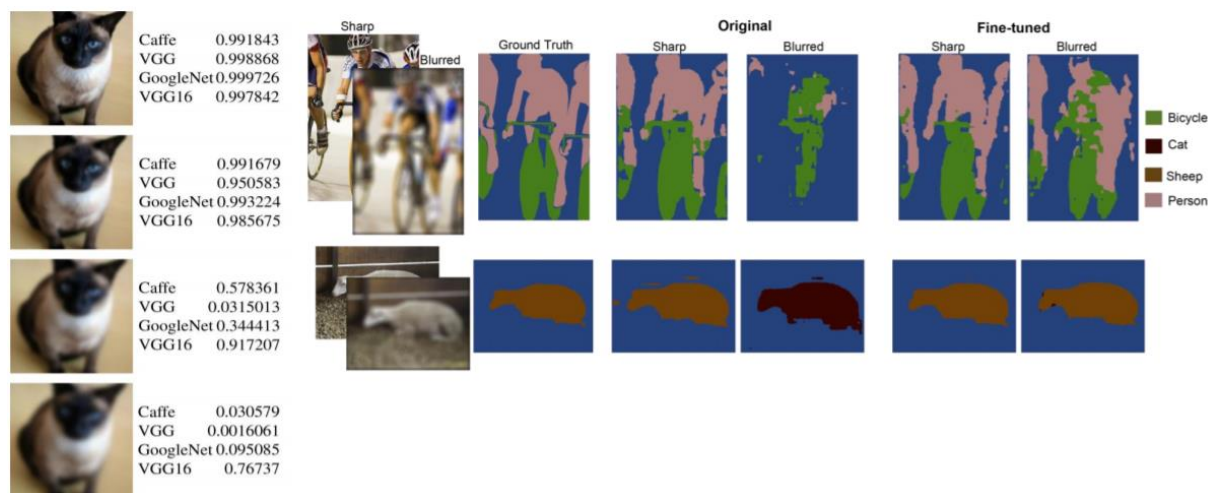


Рис. 1. Демонстрация деградации метрик распознавания

Одним из подходов к решению этой проблемы является создание параметризованных моделей для конкретных типов размытия, что значит использование длины движения и угла для описания размытия движения, радиуса ядра

размытия для моделирования размытия расфокусировки и гауссовой модели для моделирования размытия атмосферной турбулентности.

Дэш и Маджхи предложена нейронная сеть с радиальной базисной функцией с характеристиками изображения, основанными на величине коэффициентов Фурье, для оценки длин движения [11]. Кумаром вместе с соавторами использован момент Чебышева для оценки дисперсии гауссовой модели [12]. Инь и Хуссейном объединены меры негауссовости для анализа независимых компонентов, чтобы оценить параметры длины движения, радиуса диска и степени турбулентности [13].

Однако методы, основанные на оценке параметров, терпят неудачу при работе со случайным PSF (Point Spread Function). Поскольку проблема слепой деконволюции неоднозначна, она может быть упорядочена некоторыми *deep image prior* (*Deep Image Prior* – тип сверточной нейронной сети, используемой для улучшения данного изображения без каких-либо предварительных обучающих данных, кроме самого изображения), которые предпочитают четкие изображения шумным и размытым.

Последние достижения в области цифровой обработки изображений и разреженного представления привели к разработке новых методов, основанных на статистических характеристиках естественных изображений.

По утверждению Фергуса и соавторов распределение градиентных величин естественного изображения имеет тяжелый хвост и острый верх. Соответственно, предложен эффективный метод, основанный на вариационном байесовском подходе [14].

Джоши и соавторами выдвинут приор по локальной цветовой статистике с гипер-Лапласианским (Hyper-Laplacian) приором для удаления шумов и размытия [15]. Ван и соавторами предложен приор, основанный на общей вариации [16]. Сюй и Цзя объединено общее изменение с методом деконволюции с ограничением L1, чтобы эффективно уменьшить выбросы и сохранить структуры изображения [17].

Пан и соавторами восстановлено скрытое изображение в темном канале [18]. Янгом и соавторами предложен L1 ограниченный метод в сочетании с генетическим алгоритмом для восстановления четкого изображения [19]. Эти методы принимают Lp-норму или квази-норму в качестве priоров изображения, что позволяет получать высококачественный результат.

Кроме того, методы на основе обучения также являются практическими подходами в этой области. Чжу и соавторами предложен метод, который выявляет priоры из выборки Гиббса [20]. Радж и соавторами предложено изображение, предварительно основанное на Марковском случайном поле [21]. Шулером и соавторами использован многослойный персептрон, чтобы изучить схему деконволюции изображений на большом наборе данных естественных изображений [22]. Чжан и соавторами обучен набор сверточных нейросетевых priоров, которые действуют как ограничение методов оптимизации на основе моделей, чтобы справиться с проблемами восстановления изображений [23].

Постановка задачи. Сравнить основные подходы устранения размытия и смаза на изображениях и выбрать наилучший для дальнейшего применения его в системах компьютерного зрения и улучшения качества распознавания движущихся объектов.

Методы восстановления расфокусированных и смазанных изображений. Математически размытие можно определить как линейный процесс, который приводит к ухудшению изображения, который можно рассматривать как линейную, инвариантную к сдвигу систему. Кроме того, это может быть выражено моделью свертки следующим образом:

$$g = k \otimes f + \eta, \quad (1)$$

где f и g представляют исходные и наблюдаемые размытые изображения соответственно;

k – ядро размытия;

символ « $\otimes$ » представляет собой оператор свертки;

η – обозначает аддитивный шум, генерируемый во время получения или передачи изображения.

До настоящего времени в программных инструментах для повышения резкости фотографий обычно использовались два метода: фильтрация изображений или деконволюция.

Первый тип повышения резкости – фильтрация изображений. Основная идея проста: у размытых изображений отсутствуют пространственные высокочастотные компоненты. Следовательно, применение фильтра, повышающего высокие частоты, делает изображение более четким. Как правило, эта техника работает для фотографий с небольшим размытием. Поскольку этот метод быстрый, большинство программных инструментов повышения резкости используют этот метод. Метод фильтрации изображений работает хорошо в случае, если нужно немного повысить резкость фотографии, но, если фотография имеет большую размытость, то применение этого метода неэффективно. Проблема заключается в том, что при усилении высокочастотных компонентов фото-инструмент также усиливает шум и артефакты на фотографиях. При использовании фильтра резкости, использующего этот метод, создаются изображения с такими артефактами, как «жирные края», «ореол» и усиление шума.

Второй тип метода повышения резкости называется деконволюцией. Функция разброса точек суммирует процесс размытия как математическую операцию под названием «Свертка». Таким образом, удаление размытия математически моделируется как деконволюция. Этот тип метода был вначале разработан для астрономии, а затем для спутников-шпионов. При его создании обычные фотографы не имели доступа к этой технологии из-за скорости работы компьютера и стабильности алгоритмов. В дополнение к тому, что он намного медленнее, чем метод фильтрации изображений, в деконволюции должна быть известна функция разброса точек, которую очень сложно оценить. Он также очень чувствителен к шуму изображения и сжатию JPEG.

Существуют следующие подходы для деконволюции. Это подходы, которые учитывают наличие шума на изображении – один из самых известных и самых первых, это фильтр Винера [24], рассматривающий изображение и шум как случайные процессы и находящий такую оценку $\hat{f}$ для неискаженного изображения f , чтобы среднеквадратическое отклонение этих величин было минимальным. Минимум этого отклонения достигается на функции в частотной области:

$$\hat{F}(u, \vartheta) = \left(\frac{1}{H(u, \vartheta)} \frac{|H(u, \vartheta)|^2}{|H(u, \vartheta)|^2 + s_\eta(u, \vartheta) / s_f(u, \vartheta)} \right) G(u, \vartheta), \quad (2)$$

где $\hat{F}(u, v)$ – восстановленное изображение,

$H(u, v)$ –искажающая функция,

$G(u, v)$ –искаженное изображение.

Функцией S здесь обозначаются энергетические спектры шума и исходного изображения. Поскольку эти величины редко бывают известны, то дробь S_n / S_f заменяют на некоторую константу K , которую можно охарактеризовать как соотношение сигнала к шуму.

Проверка эффективности может быть выполнена путем реализации этого подхода и его применения на изображении с простым размытием по Гауссу с ядром размытия равным 10 и наложенным Гауссовским шумом с сигмой равной 20 (рис.2).

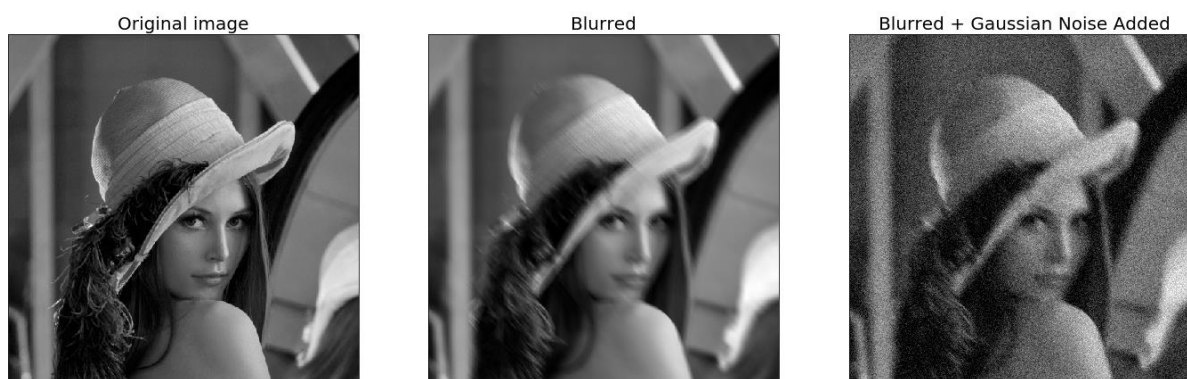


Рис. 2. Демонстрация наложения размытия и шума на изображение

Изображение слева – исходное изображение, среднее – результат размытия, а справа – размытое изображение с добавлением шума. Результат применения подхода Винера на шумное и размытое изображение (рис. 3):



Рис. 3. Результат применения фильтра Винера

Из результатов эксперимента видно, что подход Винера не идеальный. Он плохо справляется с размытием, но неплохо работает в случае устранения шума.

Следующий метод, это «сглаживающая фильтрация методом наименьших квадратов со связью». Другие названия: «фильтрация по Тихонову», «Тихоновская регуляризация» [25]. Идея этого метода заключается в формулировке задачи в матричном виде с дальнейшим решением соответствующей задачи оптимизации.

Это решение записывается в виде:

$$\hat{F}(u, \vartheta) = \left(\frac{H^*(u, \vartheta)}{|H(u, \vartheta)|^2 + \gamma |P(u, \vartheta)|^2} \right) G(u, \vartheta), \quad (3)$$

где γ – параметр регуляризации,

$P(u, v)$ – Фурье-преобразование оператора Лапласа (матрицы $3 * 3$).

Для сравнения удалено размытие изображения без регуляризации. Это имеет смысл только при минимальном уровне шума.

Кроме того, это возможно только на крошечных изображениях, потому что решение плохо обусловленных задач намного дороже, чем хорошо подготовленных.

Для этого теста выбирается небольшое ядро размытия и изображение с текстом. Благодаря контрастности, проще видны артефакты устранения размытия (рис.4).

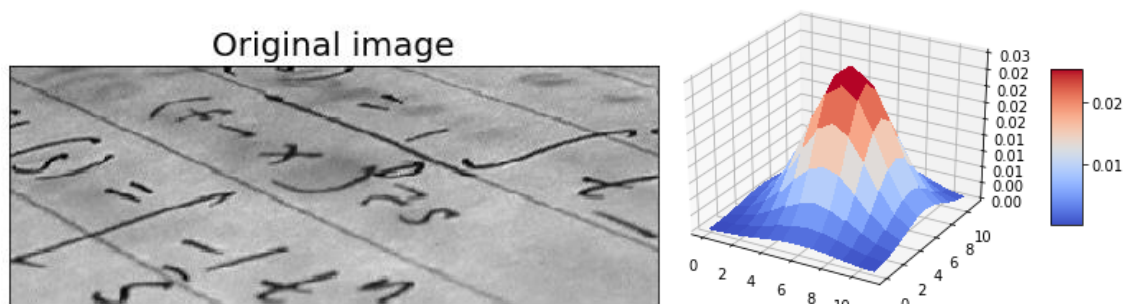


Рис. 4. Демонстрация исходного изображения и ядра искажения

В результате получается (рис.5):

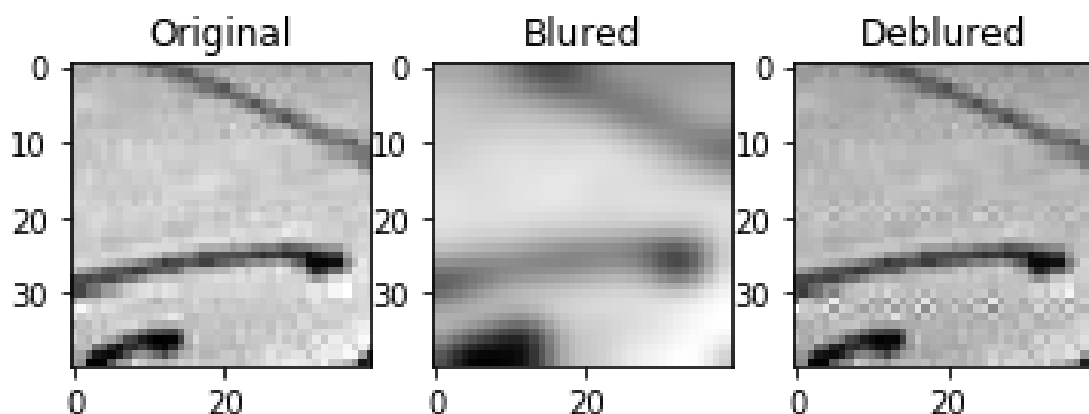


Рис. 5. Демонстрация удаления размытия без регуляризации

Изображение слева – исходное изображение, среднее – результат размытия, а справа – изображение без размытия. Ясно, что результат не безукоризнен. Если добавить больше шума, в результате без размытия будет полностью преобладать шум. Это связано с тем, что матрица размытия плохо подготовлена. Если протестировать регуляризацию Тихонова с полным изображением и намного большим шумом (рис.6), то видно, что результат не идеален, в частности, на плоских участках изображения есть звон. Однако результат резче, чем размытое изображение, а главное – стабильный. Узоры из точек / кругов на заднем плане, похожи на артефакт колебаний.

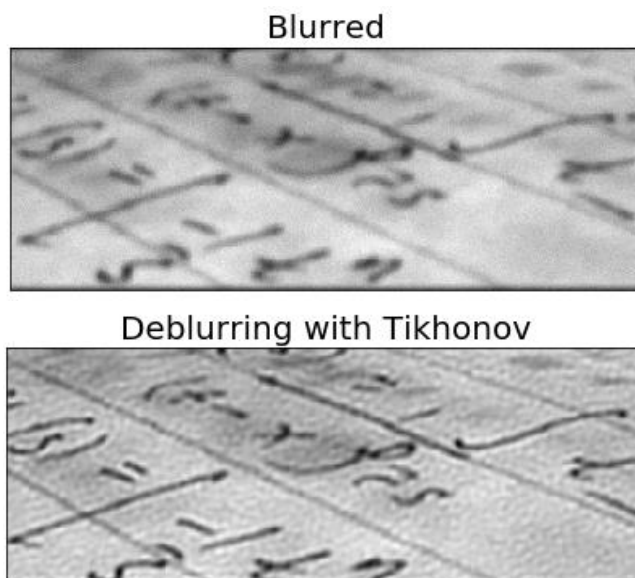


Рис. 6. Результат удаления размытости изображения с регуляризацией Тихонова

Достоинства:

- для обработки изображения нужно знать только среднее значение и дисперсию шума, величины этих значений можно определить на основе заданного искаженного изображения;
- возможность использования при решении широкого спектра различных задач с относительно малыми затратами машинных ресурсов;
- относительная простота реализации.

Недостатки:

- малая скорость преобразования;
- неустойчивость к действию нелинейных искажений в свёртке;
- ограниченная возможность получения высокого разрешения.

Еще один интересный подход предложен независимо Ричардсон [Richardson, 1972] и Люси [Lucy, 1974] (метод Люси-Ричардсона) [26], отличительной особенностью которого является то, что он является нелинейным, в отличие от первых, что потенциально может дать лучший результат. Вторая особенность – метод является итерационным, соответственно возникают трудности с критерием останова итераций.

Основная идея состоит в использовании метода «максимального правдоподобия», для которого предполагается, что изображение подчиняется распределению Пуассона.

Формулы для вычисления достаточно простые, без использования преобразования Фурье. Все делается в пространственной области:

$$\hat{f}_{k+1}(x, y) = \hat{f}_k(x, y) \left[h(-x, -y) * \frac{g(x, y)}{h(x, y) * \hat{f}_k(x, y)} \right] \quad (4)$$

Здесь символом «*», обозначается операция свертки. Этот метод широко используется в программах для обработки астрономических фотографий. В них использование деконволюции (вместо unsharp mask, как в фоторедакторах) – сложившийся стандарт.

Для проверки этого метода взято фото астронавта и фильтр Гаусса с дельтой 10 для размытия этого фото (рис.7).



Рис. 7. Демонстрация исходного, зашумленного изображения и ядра размытия

Так как метод итерационный, он применен к изображению с разным количеством итераций (5, 30 и 80). Результат показал, что количество итераций необходимо настраивать отдельно под каждое изображение, малое число итераций недостаточно для устранения размытия, а из-за слишком большого их количества на изображении появляется большое количество артефактов, которые ясно видно по контуру изображения (рис. 8, 9).



Рис. 8. Результат удаления размытости изображения при помощи подхода Ричардсона-Люси в 5 итераций



Рис. 9. Результат удаления размытости изображения при помощи подхода Ричардсона-Люси в 30 и 80 итераций

Алгоритм основан на PSF, где PSF описывается как импульсная характеристика оптической системы. В задачах, где функция рассеяния точки неизвестна априори, была предложена модификация алгоритма Ричардсона – Люси для выполнения слепой деконволюции.

Достоинства:

- метод нелинейный;
- возможность учёта априорной информации;
- возможность повышения разрешающей способности алгоритмов.

Недостатки:

- сложность реализации;
- вычислительная сложность метода – обработка фотографии, в зависимости от количества итераций, может занимать много времени.

Слепая деконволюция (blind deconvolution) – семейство методов, которые сейчас активно разрабатываются и развиваются (рис.10).

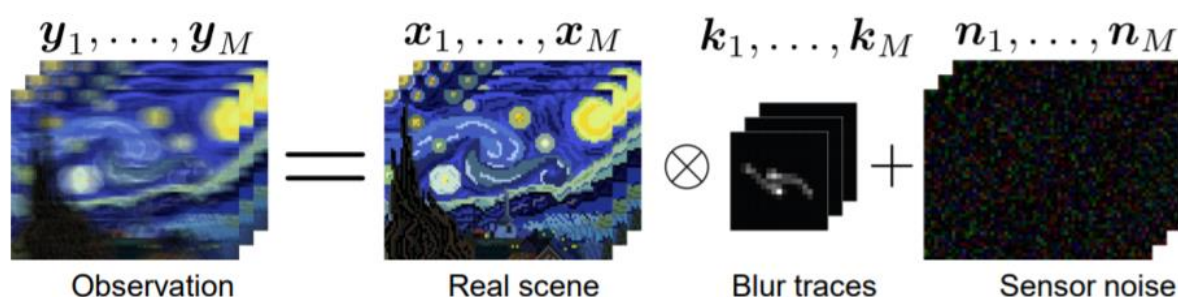


Рис. 10. Упрощенная модель деградации

Если имеется только сильно размытое изображение и нет информации о размытии, то восстановление кадра – задача слепой деконволюции. Стандартное решение требует порядка нескольких секунд на один мегапиксель и вносит дополнительные артефакты. Поставленная задача некорректна, поскольку бесконечное количество пар x и k могут давать один и тот же y . Информацию о k можно получить подключением датчиков к камере и отслеживании движения камеры в момент экспозиции. Это является задачей простой, а не слепой, деконволюции. И эта задача тоже некорректно поставлена, поскольку бесконечное количество x при одном и том же фиксированном k могут давать один и тот же y , но домен поиска решений существенно меньше, чем в слепой деконволюции. Поэтому стандартная реализация требует нескольких долей секунды на восстановление изображения.

Во всех предыдущих методах предполагалось, что искажающая функция PSF (т.е. функция распределения точки) точно известна. В реальности это не так. Обычно PSF известна лишь приблизительно по характеру видимых искажений. Слепая деконволюция как раз является попыткой учить это.

Принцип достаточно простой, если не углубляться в детали. Выбирается первое приближение PSF. Далее по одному из методов делается деконволюция. После чего некоторым критерием определяется степень качества, на основе которой уточняется функция PSF и итерация повторяется до достижения нужного результата.

Благодаря прогрессу в развитии области глубокого обучения сверточных нейронных сетей (CNN), они продемонстрировали свою мощь в решении проблемы размытия изображения. По сравнению с традиционными подходами, его короткое время обработки и обобщение для любого типа размытия очень многообещающе.

Новаторские работы [27] и [28] не полностью свободны от стандартного конвейера удаления размытия. Нейронные сети обучены предсказывать ядро размытия при движении в пространственной или частотной области и восстанавливать четкое изображение с помощью трудоемкой деконволюции.

В последнее время большое внимание привлекли сквозные (ent-to-end) сети для устранения размытия. Эти методы создают скрытое резкое изображение из размытого изображения за один проход без явной оценки ядер размытия, что позволяет избежать артефактов и искажений, вызванных ошибочными ядрами. Многомасштабная сеть [29] была построена путем передачи традиционной грубой схемы на CNN. Ее производительность значительно улучшена в SRN [30], которая встроила рекуррентные нейронные сети (RNN) в многомасштабную структуру. Разработка Conditional Generative Adversarial Nets (CGAN) вдохновила другой тип сети глубокого обучения для удаления размытия – DeblurGAN [31]. Для уменьшения артефактов изображения, предварительный темный канал включен в функцию потерь, а остаточные сети DeblurGAN заменены на облегченную U-сеть [32].

Однако низкая производительность в сложных приложениях по-прежнему является проблемой в этих сетях. Например, многомасштабная сеть, предложенная SRN [30], не справляется с большим ядром размытия, как показано на (рис. 11) [35], где показаны исходное изображение (а), размытое изображение (b), результат DeblurGAN (с) [31], результат SRN (d) [30], предлагаемый результат DeblurRNN (e) [35].

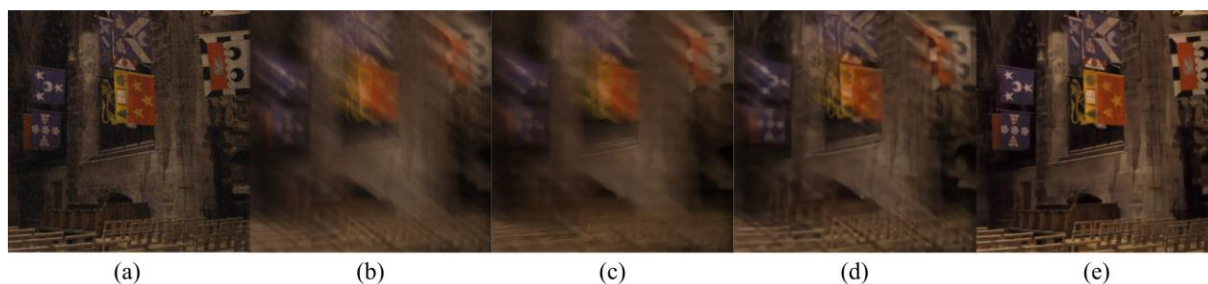


Рис. 11. Удаление размытия изображения из набора данных Kohler [1], ухудшенного из-за большого ядра размытия

Хотя в SRN используется три уровня нейронных сетей, этого недостаточно для такого большого ядра размытия. Конструкция трех шкал – это компромисс с точки зрения размера сети и способности устранять значительные эффекты размытия. Аналогичная производительность также наблюдается в сетях на основе GAN.

Так как зашумленное резкое изображение является очень хорошим начальным приближением к скрытому чистому изображению, предложено использовать пару зашумленное / размытое изображение, захваченное в режиме серийной съемки, в качестве входа в сеть [35]. Зашумленное изображение сохраняет крупномасштабные структуры, в то время, как размытое изображение имеет правильный цвет и высокое отношение сигнал / шум (SNR). Цель метода – получить изображение высокого качества путем объединения двух ухудшенных изображений [35]. Этот метод рассмотрен в традиционных подходах к удалению размытости [33, 34], но еще не использовался с нейронными сетями. Представлены две нейронные сети DeblurRNN и DeblurMerger, которые используют дополнительную информацию из обоих изображений [35]. DeblurRNN состоит из двух последовательно расположенных структур кодер-декодер: одна для удаления шума, а другая для устранения размытости, которые связаны скрытым состоянием, расположенным между кодером и декодером.

DeblurMerger использует параллельные ветви для извлечения различных типов информации из разных входов, учится объединять их в средних слоях и декодировать их в четкое изображение. Обе сети могут эффективно устранять размытости разного размера, вызванные разными источниками. Производительность проверена как на синтетических наборах данных, так и на реальных парах изображений.

Результаты устранения размытия для набора данных GOPRO показаны на рисунке 12 [35], где в колонках а – полные размытые изображения в высоком разрешении, b – входные зашумленные изображения, с – входные размытые изображения, d – результат DeblurGAN [31], e – результат SRN [30], f – предлагаемый результат DeblurMerger [35], g – предлагаемый результат DeblurRNN [35].

Наиболее очевидный недостаток DeblurGAN [31] – это узор или артефакты в виде шахматной доски, которые генерируются по всему изображению. SRN [30] может обрабатывать различные типы ядер размытия в целом, однако по-прежнему не может обрабатывать размытые изображения с несколькими движущимися объектами или ухудшенные из-за больших ядер размытия. В первом ряду на рисунке 12 маленькая девочка и маленький мальчик, показанные на локальных изображениях, движутся быстрее, чем другие объекты в сцене, результат SRN размыт и на их лицах нет деталей.

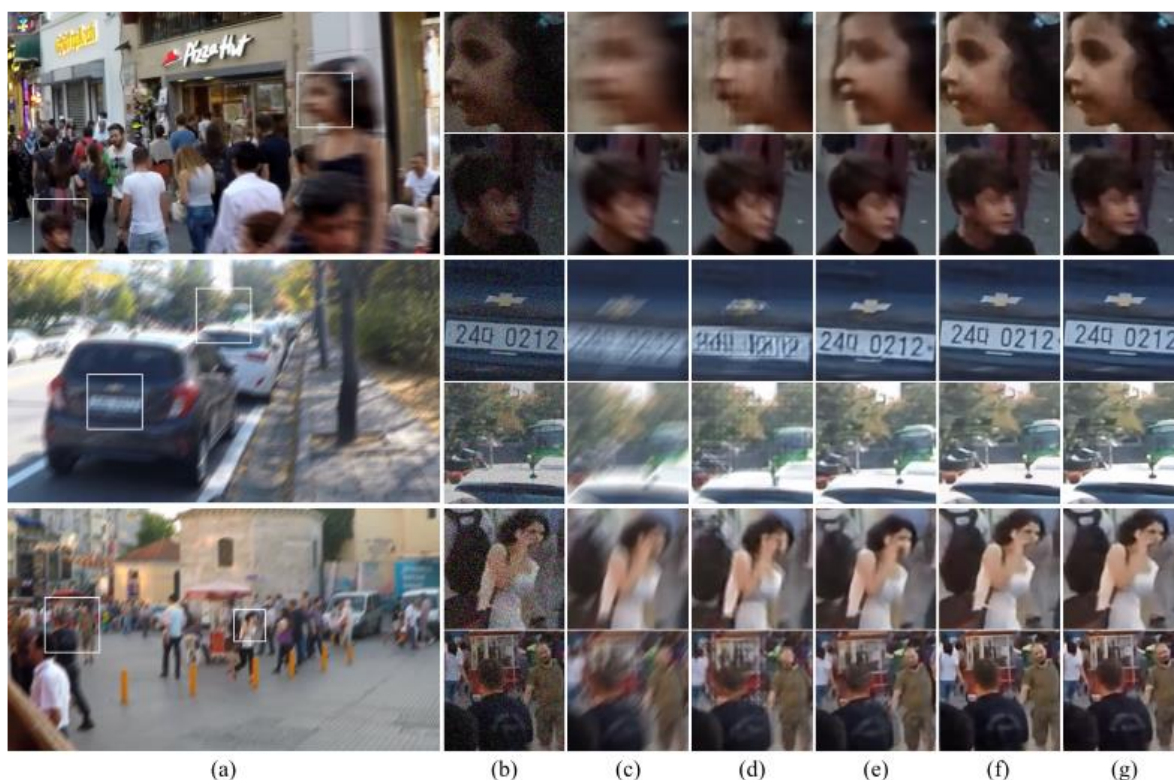


Рис. 12. Удаление размытия изображения из набора данных GOPRO

Достоинства:

- лучшие показатели устранения размытия;
- скорость выполнения;
- не нужно знать PSF.

Недостатки:

- затраты машинных ресурсов, необходимые для получения качественного результата восстановления;
- неустойчивость к шумам и нелинейным искажениям в свёртке.

Выводы. В настоящей статье протестированы и оценены различные методы восстановления расфокусированных и смазанных изображений, произведен сравнительный анализ, выявлены соответствующие достоинства и недостатки, предложены решения и рекомендации для их устранения. На сегодняшний день существует большое количество конкурирующих методов, в которых по-разному подходят к решению задачи восстановления расфокусированного и смазанного изображения. Некоторые методы устарели, другие применимы только в определенных обстоятельствах, трудно реализуемы или ресурсозатратны. Благодаря стремительному развитию исследований в области машинного обучения и сверточных нейронных сетей, в настоящее время достигнут значительный прогресс в применении методов слепой деконволюции. Это значит, что задача не решена полностью и требует дальнейшего улучшения технологии. Перспективно направление применения таких методов или сочетания этих методов для восстановления большого набора последовательных изображений, то есть для видео.

Выбран наилучший и перспективный метод слепой деконволюции с использованием нейросетей для дальнейшего применения его в системах компьютерного зрения и улучшения качества распознавания движущихся объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. El-Sallam A. A. Spectral-based blind image restoration method for thin TOMBO imagers / A. A. El-Sallam, F. Boussaid – Текст : электронный // Sensors – 2008. – URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/8/9/6108> (дата обращения: 16.10.2020).
2. Zhang W. Blurred star image processing for star sensors under dynamic conditions / W. Zhang, W. Quan, L. Guo. – Текст : электронный // Sensors – 2012. – URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/12/5/6712> (дата обращения: 18.10.2020).
3. A new quantitative method for the non-invasive documentation of morphological damage in paintings using RTI surface normals / M. Manfredi, G. Bearman, G. Williamson [et al.]. – Текст : электронный // Sensors – 2014. – URL: <https://dx.doi.org/10.3390/s140712271> (дата обращения: 18.10.2020).
4. The visual object tracking algorithm research based on adaptive combination kernel / Y. Chen, J. Wang, R. Xia [et al.]. – Текст : электронный // Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing. – 2019. – Vol. 10. – P. 4855-4867. – URL: <https://doi.org/10.1007/s12652-018-01171-4> (дата обращения: 20.10.2020).
5. Spatially attentive visual tracking using multi-model adaptive response fusion / J. Zhang, Y. Wu, W. Feng and J. Wang. – Текст : электронный // IEEE Access. – 2019. – Vol. 7. – P. 83873-83887. – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8746147> (дата обращения: 21.10.2020).
6. Spatial and semantic convolutional features for robust visual object tracking / J. Zhang, X. Jin, J. Sun [et al.]. – Текст : электронный // Multimedia Tools and Applications. – 2018. – URL: <https://doi.org/10.1007/s11042-018-6562-8> (дата обращения: 21.10.2020).
7. Lightweight deep network for traffic sign classification / J. Zhang, W. Wang, C. Lu [et al.]. – Текст : электронный // Annals of Telecommunications. – 2019. – URL: <https://doi.org/10.1007/s12243-019-00731-9> (дата обращения: 25.10.2020).
8. A full convolutional network based on DenseNet for remote sensing scene classification / J. Zhang, C. Lu, X. Li [et al.]. – Текст : электронный // Mathematical Biosciences and Engineering. – 2019. – Vol. 16, № 5. – P. 3345-3367. – URL: <https://doi.org/10.3934/mbe.2019167> (дата обращения: 26.10.2020).
9. The fire recognition algorithm using dynamic feature fusion and IV-SVM classifier / Y. Chen, W. Xu, J. Zuo and K. Yang. – Текст : электронный // Cluster Comput. – 2029. – Vol. 22, no. S3. – P. 7665-7675. – URL: <https://doi.org/10.1007/s10586-018-2368-8> (дата обращения: 29.10.2020).
10. Vasiljevic I. Examining the Impact of Blur on Recognition by Convolutional Networks / I. Vasiljevic, A. Chakrabarti, G. Shakhnarovich. – Текст : электронный // arXiv : [сайт]. – 2017. – URL: <https://arxiv.org/abs/1611.05760> (дата обращения: 30.10.2020).
11. Dash R. Motion blur parameters estimation for image restoration. / R. Dash, B. Majhi – Текст : электронный // Optik. – 2014. – Vol. 125, Is. 5. – P. 1634-1640. – URL: <https://dx.doi.org/10.1016/j.jileo.2013.09.026> (дата обращения: 01.11.2020).

12. Tchebichef moment-based restoration of Gaussian blurred images / A. Kumar, R. Paramesran, C.-L. Lim, S.C. Dass. – Текст : электронный // *Applied Optics*. – 2016. – Vol. 55, Is. 32. – P. 9006–9016. – URL: <https://dx.doi.org/10.1364/AO.55.009006> (дата обращения: 03.11.2020).
13. Yin H. Independent component analysis and nongaussianity for blind image deconvolution and deblurring / H. Yin, I. Hussain. – Текст : электронный // *Integrated Computer-Aided Engineering*. – 2008. – P. 219–228. – URL: <https://dx.doi.org/10.3233/ICA-2008-15302> (дата обращения: 04.11.2020).
14. Removing camera shake from a single photograph / R. Fergus, B. Singh, A. Hertzmann [et al.]. – Текст : электронный // *ACM Transactions on Graphics*. – 2006. – URL: <https://dx.doi.org/10.1145/1141911.1141956> (дата обращения: 05.11.2020).
15. Image deblurring and denoising using color priors / N. Joshi, C. L. Zitnick, R. Szeliski, D. J. Kriegman. – Текст : электронный // *Institute of Electrical and Electronics Engineers*. – 2009. – P. 1550–1557. – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5206802> (дата обращения: 05.11.2020).
16. A New Alternating Minimization Algorithm for Total Variation Image Reconstruction / Y. Wang, J. Yang, W. Yin, Y. Zhang. – Текст : электронный // *SIAM Journal on Imaging Sciences*. – 2008. – URL: <https://dx.doi.org/10.1137/080724265> (дата обращения: 05.11.2020).
17. Xu L. Two-Phase Kernel Estimation for Robust Motion Deblurring / L. Xu, J. Jia. – Текст : электронный // *Computer Vision – ECCV 2010 : 11th European Conference on Computer Vision, Heraklion, Crete, Greece, September 5-11, 2010, Proceeding*. – P. 157–170. – URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-15549-9_12 (дата обращения: 05.11.2020).
18. Blind Image Deblurring Using Dark Channel Prior. / J. Pan, D. Sun, H. Pfister, M.-H. Yang. – Текст : электронный // *In Proceedings of the 2016 IEEE*. – 2016. – P. 1628–1636. – URL: https://www.cv-foundation.org/openaccess/content_cvpr_2016/papers/Pan_Blind_Image_Deblurring_CVPR2016_paper.pdf (дата обращения: 05.11.2020).
19. Efficient Self-Adaptive Image Deblurring Based on Model Parameter Optimization. / H. Yang, X. Su, C. Ju, S. Wu. – Текст : электронный // *Proceedings of the 2018 IEEE (ICIVC)*. – 2018. – P. 384–388. – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8492739> (дата обращения: 05.11.2020).
20. Zhu S. C. Prior learning and Gibbs reaction-diffusion / S. C. Zhu, D. B. Mumford. – Текст : электронный // *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. – 1997. – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8492739> (дата обращения: 06.11.2020).
21. Raj A. A graph cut algorithm for generalized image deconvolution / A. Raj, R. Zabih. – Текст : электронный // *Proceedings of the Tenth IEEE (ICCV'05)* – 2005. – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1544836/> (дата обращения: 06.11.2020).
22. A Machine Learning Approach for Non-blind Image Deconvolution / C. J. Schuler, C. H. Burger, S. Harmeling, B. Scholkopf. – Текст : электронный // *Proceedings of the 2013 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. – 2013. – P. 1067–1074. – URL: https://www.cv-foundation.org/openaccess/content_cvpr_2013/html/SchulerAMachineLearning2013CVPR_paper.html (дата обращения: 06.11.2020).
23. Learning Deep CNN Denoiser Prior for Image Restoration / K. Zhang, W. Zuo, S. Gu, L. Zhang. – Текст : электронный // *Proceedings of the 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. – 2017. – P. 2808–2817. – URL: https://openaccess.thecvf.com/content_cvpr_2017/html/Zhang_Learning_Deep_CNN_CVPR_2017_paper.html (дата обращения: 06.11.2020).
24. Orieux F. Bayesian estimation of regularization and point spread function parameters for Wiener-Hunt deconvolution / F. Orieux, J.-F. Giovannelli, and T. Rodet. – Текст : электронный // *Journal of the Optical Society of America*. – 2010. – URL: <http://research.orieux.fr/files/papers/OGR-JOSA10.pdf> (дата обращения: 06.11.2020).
25. An optimal Tikhonov regularized image restoration algorithm / B. Zhang, P. Liu, T. Bai and P. Yan. – Текст : электронный // *Int. Cong. Im. Sig. Proc. (China: Chongqing/IEEE)*. – 2012. – P. 355–359. – URL: https://www.researchgate.net/publication/261280791_An_optimal_Tikhonov_regularized_image_restoration_algorithm (дата обращения: 06.11.2020).
26. Richardson W. Bayesian-Based Iterative Method of Image Restoration / W. Richardson. – Текст : электронный // *Journal of the Optical Society of America*. – 1972. – URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Bayesian-Based-Iterative-Method-of-Image-Richardson/eb5f518e9fdd764835f719bfef59b1276cb562b3> (дата обращения: 06.11.2020).
27. Snu J. Learning a convolutional neural network for non-uniform motion blur removal. / J. Sun, W. Cao, Z. Xu, and J. Ponce – Текст : электронный // *IEEE Conf. on (CVPR)* – pp 769–777 – 2015. – URL: <https://arxiv.org/abs/1503.00593> (дата обращения: 07.11.2020).

28. Schuler C. J. Learning to deblur. / C. J. Schuler, M. Hirsch, S. Harmeling, and B. Scholkopf – Текст : электронный // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence – vol. 38 – no. 7 – pp. 1439-1451 – 2016. – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7274732> (дата обращения 07.11.2020)
29. Nah S. Deep multi-scale convolutional neural network for dynamic scene deblurring. / S. Nah, T. H. Kim, and K. M. Lee. – Текст : электронный // 2017 IEEE Conf. (CVPR) – pp. 257-265 – 2017. – URL: <https://hanyang.elsevierpure.com/en/publications/deep-multi-scale-convolutional-neural-network-for-dynamic-scene-d> (дата обращения 07.11.2020).
30. Tao X. Scale-recurrent network for deep image deblurring. / X. Tao, H. Gao, X. Shen, J. Wang, and J. Jia. – Текст : электронный // IEEE Conf. (CVPR) – pp. 8174-8182 – 2018. – URL: <https://arxiv.org/abs/1802.01770> (дата обращения 07.11.2020).
31. Kupyn O. DeblurGAN: Blind motion deblurring using conditional adversarial networks. / O. Kupyn, V. Budzan, M. Mykhailych, D. Mishkin, and J. Matas. – Текст : электронный // IEEE/CVF Conf. (CVPR) – pp. 8183-8192 – 2018. – URL: <https://arxiv.org/abs/1711.07064> (дата обращения 01.12.2020)
32. Zhang S. Gan based image deblurring using dark channel prior / S. Zhang, A. Zhen, and R. L. Stevenson. – Текст : электронный // Fast track article for IS&T International Symposium on Electronic Imaging 2019: Computational Imaging XVII proceedings. – pp. 136-1-136-5 – 2019. – URL: <https://arxiv.org/abs/1903.00107> (дата обращения 07.11.2020).
33. Yuan L. Image deblurring with blurred/noisy image pairs. / L. Yuan, J. Sun, L. Quan, and H.-Y. Shum – Текст : электронный // ACM Trans. Graph. – vol. 26 – № 3 – 2007 – URL: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/1276377.1276379> (дата обращения 07.11.2020).
34. Zhang H. Multi-image blind deblurring using a coupled adaptive sparse prior. / H. Zhang, D. Wipf, and Y. Zhang. – Текст : электронный // IEEE Conf. (CVPR) – pp. 1051-1058. – 2013 – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6618984> (дата обращения 07.11.2020).
35. Zhang S. Deep motion blur removal using noisy/blurry image pairs. / S. Zhang, Ada Zhen, Robert L. Stevenson. – Текст : электронный // IEEE Conf. (CVPR) – 2019 – URL: <https://arxiv.org/abs/1911.08541> (07.11.2020).

Поступила в редакцию 10.11.2020 г.

RESTORING DEFOCUSED AND BLURED IMAGES

Kislyansky G.N., Nestrugina E.S.

In this article, a comparative analysis of various methods for restoring defocused and blurred images is made, the best method is selected for its further application in computer vision systems and improving the quality of recognition of moving objects, the corresponding advantages and disadvantages are identified, solutions and recommendations for their elimination are proposed.

Keywords: restoration, digital processing, blind deconvolution, blur, blurred images, neural network.

Кислянский Григорий Николаевич

магистрант кафедры компьютерных технологий
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»,
ДНР, г. Донецк.

E-mail: gkk978@gmail.com

Kislianskii Grigorii Nikolaevich

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

Нестругина Елена Сергеевна

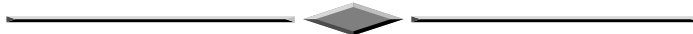
кандидат технических наук, доцент кафедры
компьютерных технологий ГОУ ВПО «Донецкий
национальный университет»,
ДНР, г. Донецк.

E-mail: e.nestrugina@donnu.ru

Nestrugina Elena Sergeevna

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

ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА



УДК 621.365.2

ШЕСТИЭЛЕКТРОДНАЯ ДУГОВАЯ ПЕЧЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА

© 2020 Кухарев А.Л., Белоусов В.В., Недопёкин Ф.В.

Приведены результаты исследования электромагнитного поля в ванне расплава усовершенствованной дуговой печи емкостью 180 т, которая имеет три сводовых и три подовых электрода, причем угол между смежными осями сводовых и подовых электродов составляет 60°. Показано, что при питании такой печи постоянным током электромагнитное поле обладает рядом симметричных свойств. Отмечено улучшение энергетических характеристик предложенной печи по сравнению с традиционными трехэлектродными печами переменного тока промышленной частоты.

Ключевые слова: дуговая печь, силы Лоренца, энергетические характеристики.

Введение. В современных электрометаллургических комплексах установленная мощность дуговых печей достигает 100 МВА и более при токах 80-150 кА [1], поэтому такие печи принято называть сверхмощными UHP – Ultra High Power. Питание таких печей, может осуществляться как переменным током, так и постоянным током от полупроводниковых преобразователей напряжения с помощью системы многоэлектродного токоподвода [1-3].

Распределение электромагнитного поля в расплаве печи при протекании больших токов характеризует эффективность джоулевого нагрева, а также интенсивность магнитогидродинамических эффектов [3-4].

Исследованиям многоэлектродных печей различных конструкций посвящены работы [2-5]. В [3] исследовалась многоэлектродная печь, имеющаяся 2 сводовых и 4 подовых электрода, емкостью 420 т. Данная печь спроектирована на питание постоянным током [1].

В работе [2] исследовалась печь с соосно расположенными тремя сводовыми и тремя подовыми электродами при ее питании напряжением пониженной частоты (2 Гц).

В патенте [6] нами предложена конструкция шестиэлектродной дуговой печи с тремя сводовыми и тремя подовыми электродами, в которых угол между смежными осями сводовых и подовых электродов составляет 60°. Также предложено осуществлять питание такой печи от специальных преобразователей электроэнергии, которые обеспечивают выдачу, как постоянного напряжения, так и переменного напряжения с регулируемыми параметрами амплитуды, формы, фазы и частоты.

Гидродинамические и тепловые процессы в расплаве предлагаемой печи при питании постоянным током подробно исследованы нами в [4].

Актуальной задачей является изучение особенностей электромагнитных процессов в предложенной печи методом компьютерного моделирования.

Основная часть. Предлагаемая шестиэлектродная дуговая печь в данном исследовании имела ванну цилиндросфероконической формы емкостью 180 т. Геометрическая модель и профиль ванны представлены на рис. 1. Границы расчетной области в плоскости XY были отнесены от стенок ванны на 10 м (на рис. 1 не показаны). На рис. 1 б указаны основные геометрические размеры ванны.

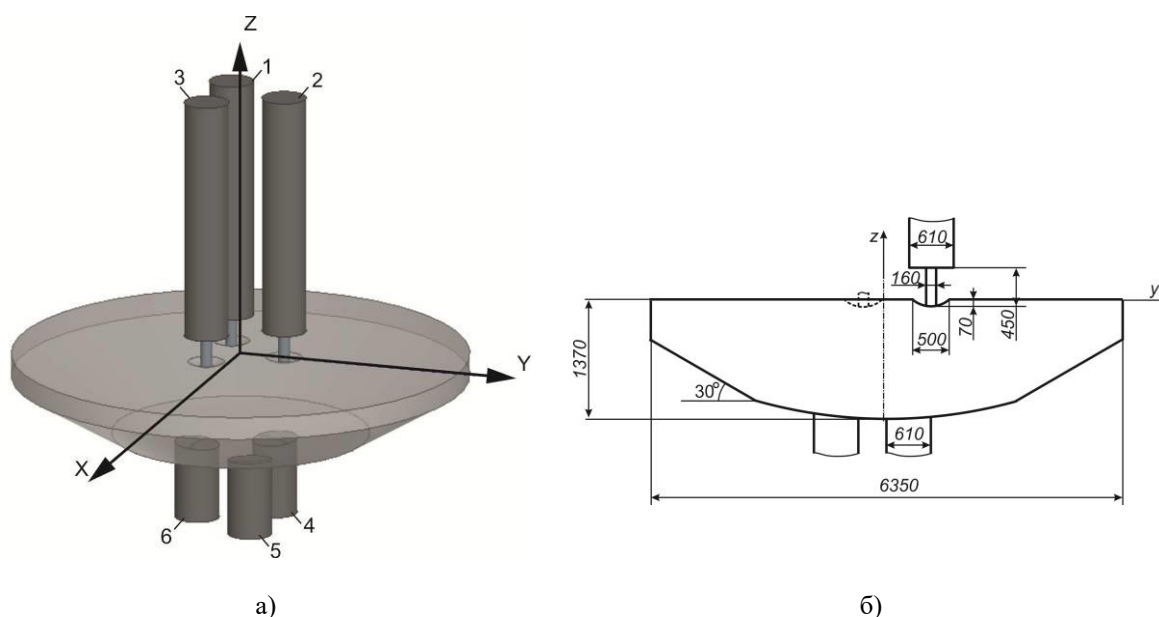


Рис. 1. Геометрическая модель печи: а)– общий вид; б)– профиль ванны в направлении оси Y
1, 2, 3 – сводовые электроды; 4, 5, 6 – подовые электроды

Построение модели электромагнитных процессов в дуговой печи проводилось при следующих основных допущениях:

- металл в печи считается полностью расплавившимся, при этом шлаковый слой не учитывается;
- среда считается немагнитной (ее магнитная проницаемость мало отличается от единицы, так как температура расплава превышает точку Кюри);
- электропроводность среды предполагается однородной и изотропной и не зависит от температуры и давления, пренебрегается диэлектрической проницаемостью;
- среда является малоподвижной;
- электрическая дуга представляется однородным цилиндрическим проводником, располагаемым в центре поперечного сечения электрода.
- предполагается наличие вогнутых менисков в области расплава под электрическими дугами;
- вторичный токоподвод печи не учитывается, а ток печи принимается постоянным.

При принятых допущениях электромагнитное поле в среде описывается системой уравнений Максвелла, которая в общем виде может быть представлена:

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J}, \quad \nabla \times \vec{E} = 0, \quad \nabla \cdot \vec{B} = 0, \quad (1)$$

где $\vec{J}$ – плотность тока, А/м²; $\vec{H}$ – напряженность магнитного поля, А/м; $\vec{B} = \mu_0 \vec{H}$ – индукция магнитного поля, Тл; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная постоянная; $\vec{E}$ – напряженность электрического поля, В/м.

Данная система уравнений дополняется законом Ома и уравнением непрерывности электрического тока:

$$\vec{J} = \sigma \cdot \vec{E}, \quad \nabla \cdot \vec{J} = 0. \quad (2)$$

Для решения уравнений (1-2), как правило, используются векторные или скалярные потенциалы, или их комбинация. В отличие от наиболее распространенной $\vec{A}$ - φ формулировки электромагнитного поля (где $\vec{A}$ – векторный магнитный потенциал, φ – скалярный электрический потенциал) в современных пакетах конечно-элементного моделирования используется так называемая $\vec{T}$ - Ω формулировка, где $\vec{T}$ – реберный векторный электрический потенциал, определяемый только в проводящей вихретоковой области, а Ω – узловой скалярный магнитный потенциал, определяемый во всей расчетной области. Такая формулировка потенциалов электромагнитного поля имеет преимущества, позволяя за счет указанного разбиения пространства избегать некорректных с физической точки зрения результатов решения, а также повышает стабильность численных вычислений, уменьшая число степеней свободы от трех до одного во всей непроводящей области [7].

С учетом принятых положений плотность электрического тока и напряженность магнитного поля можно выразить через данные потенциалы:

$$\vec{J} = \nabla \times \vec{T}, \quad \vec{H} = \vec{T} - \nabla \Omega. \quad (3)$$

Тогда система уравнений электромагнитного поля в потенциальной формулировке для постоянного тока будет иметь следующий вид [7]:

$$\nabla \cdot \mu_0 (\vec{T} - \nabla \Omega) = 0 \text{ в проводящей области}, \quad (4)$$

$$-\nabla \cdot \mu_0 \nabla \Omega = 0 \text{ в непроводящей области}, \quad (5)$$

$$\nabla \times \frac{1}{\sigma} \nabla \times \vec{T} - \nabla \frac{1}{\sigma} \nabla \cdot \vec{T} = 0 \text{ в проводящей области}. \quad (6)$$

Моделирование проводилось при следующих граничных условиях:

- на торцах электродов задавались исходные значения тока $I = J_n \cdot S = 80$ кА;
- на границах расчетной области задавались нулевые значения составляющих магнитного поля $B_n = 0, H_n = 0$;
- на границах между проводящей и непроводящей средой (на боковых поверхностях токопроводящих элементов и на поверхностях расплава) задавались условия непрерывности нормальной компоненты магнитного поля $B_{n1} = B_{n2}, H_{n1} = H_{n2}$, а также условие $J_n = 0$;
- на поверхности раздела двух токопроводящих элементов задавались условия продолжения электромагнитных полей: $J_{n1} = J_{n2}, B_{n1} = B_{n2}$.

При моделировании использовались следующие физические данные: удельная проводимость жидкой стали $\sigma_1 = 7,14 \cdot 10^5$ (Ом·м)⁻¹; удельная проводимость электродов $\sigma_2 = 2 \cdot 10^5$ (Ом·м)⁻¹; средняя по объему проводимость столба электрической дуги $\sigma_4 = 2,4 \cdot 10^3$ (Ом·м)⁻¹; значения токов в электродах $I = 80$ кА.

При моделировании определялись графики распределения сил Лоренца и Джоулева нагрева в различных сечениях ванны:

$$Q_{дж} = \frac{|\vec{J}|^2}{\sigma}, \quad \vec{F}_л = \vec{J} \times \vec{B}, \quad (7)$$

Результаты моделирования распределения сил Лоренца в вертикальных и горизонтальных сечениях ванны приведены на рис. 2. Наибольшие значения плотности

силы Лоренца (рисунки 2 а, в) наблюдаются вблизи зоны контакта расплава с дугой ($1,8 \cdot 10^6 - 7 \cdot 10^4$ Н/м³). С увеличением глубины ванны плотность силы уменьшается, увеличиваясь лишь вблизи подовых электродов ($1,3 \cdot 10^4 - 7 \cdot 10^4$ Н/м³). На периферии ванны силы Лоренца близки к нулю.

В вертикальных сечениях по всей глубине ванны формируются две вертикальные зоны с плотностью более 500 Н/м³, расположенные по обе стороны от оси ванны (рис. 2 а, б). Первая зона формируется приблизительно вдоль оси электрической дуги. Вторая зона формируется вдоль оси подового электрода. Ширина этих зон при $F > 500$ Н/м³ составляет около 900 мм.

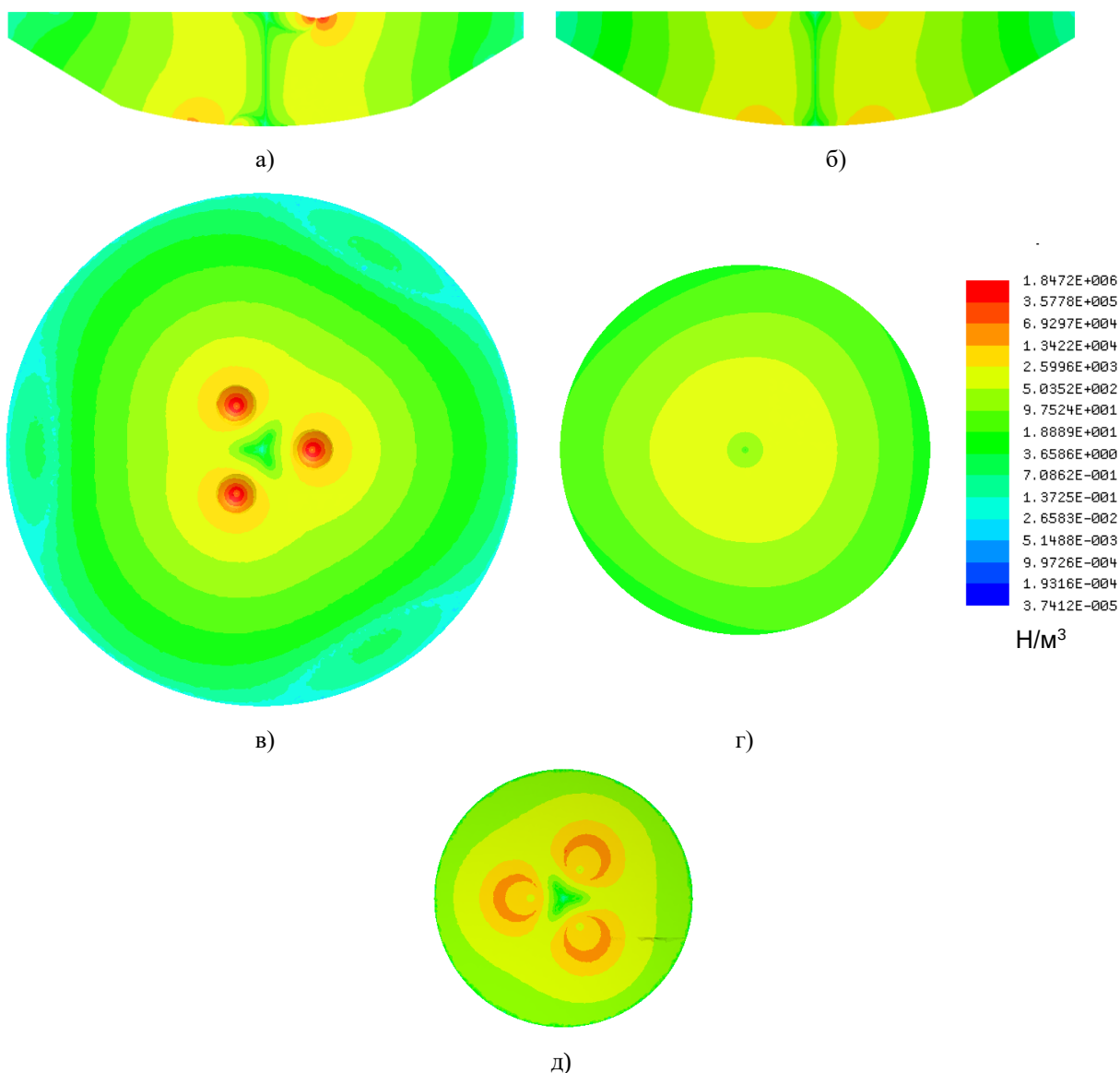


Рис. 2. Распределение плотности силы Лоренца в вертикальных сечениях:

а) – вдоль оси Y; б) – вдоль оси X; в горизонтальных сечениях: в) – при $Z=0$ мм; г) – при $Z=-715$ мм; д) – при $Z=-1370$ мм

На поверхности расплава и внутри менисков (рис. 2 в) линии распределения плотности силы Лоренца концентрируются вокруг электрических дуг. Под электродами поле плотности силы близко по форме к треугольнику с закругленными углами.

В средней по высоте части ванны (рис. 2 г) поле плотности силы близко к окружности, а максимальные значения не превышают $2,5 \cdot 10^3$ Н/м³. Таким образом, в этом сечении наблюдается симметрия, весьма близкая к центральной. В нижней части ванны (рисунок 2 д), также как и в верхней ее части, форма поля близка к треугольнику с закругленными углами, при максимальных значениях $6,9 \cdot 10^4$ Н/м³.

Результаты моделирования распределения джоулева нагрева в вертикальных и горизонтальных сечениях ванны приведены на рис. 3.

Во многом графики распределения джоулева нагрева подобны графикам распределения электромагнитной силы. Также наибольшая концентрация поля наблюдается вблизи зоны контакта с дугой ($1,2 \cdot 10^8 - 1,6 \cdot 10^6$ Вт/м³), затем она значительно падает, увеличиваясь лишь вблизи поверхности подовых электродов ($1,6 \cdot 10^6 - 1,9 \cdot 10^5$ Вт/м³) (рис. 3 а).

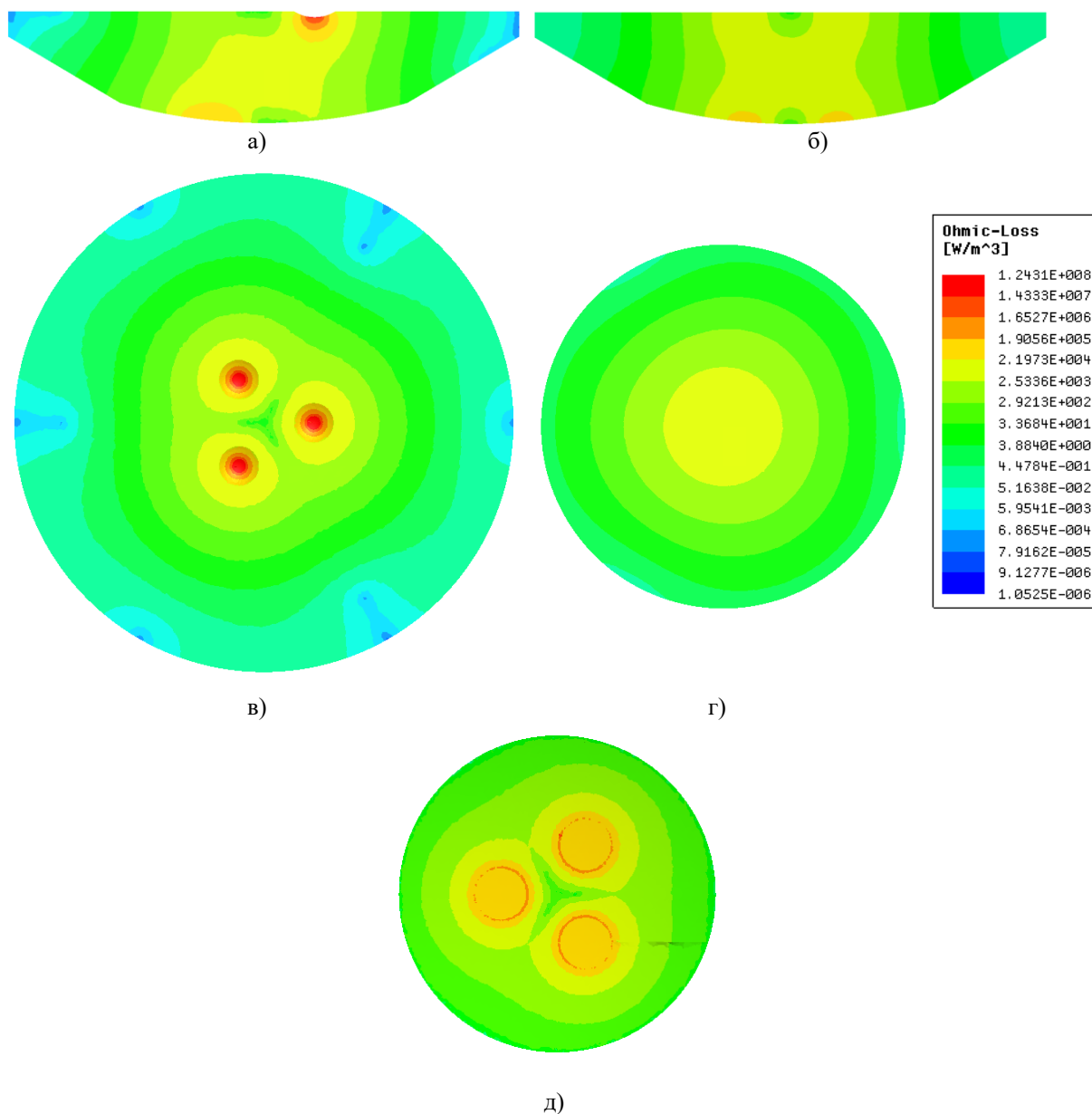


Рис. 3. Распределение джоулева нагрева в вертикальных сечениях: а) – вдоль оси Y; б) – вдоль оси X; в горизонтальных сечениях: в) – при $Z=0$ мм; г) – при $Z=-715$ мм; д) – при $Z=-1370$ мм

Из рис. 3 а, также видно, что в вертикальном сечении ванны, проходящем через ось Y , плотность джоулева нагрева распределяется приблизительно с зеркальной симметрией относительно линии, соединяющей центры пятна дуги и подового электрода, плотность джоулева нагрева вдоль среднего участка этой линии составляет около $1 \cdot 10^4$ Вт/м³. В вертикальном сечении, проходящем через ось X , поле плотности джоулева нагрева обладает осевой симметрией относительно вертикальной линии, проходящей через центр данного сечения (рис. 3 б).

В средней по высоте части ванны (рис. 3 в) поле плотности джоулева нагрева характеризуется центральной симметрией при максимальных значениях $2 \cdot 10^4$ Вт/м³. В нижней части ванны вблизи торцов подовых электродов максимальная плотность джоулева нагрева составляет $1,4 \cdot 10^7$ Вт/м³.

Верификация модели электромагнитного поля проводилась путем сопоставления результатов расчета с данными экспериментов, полученных на разработанной нами шестиэлектродной установке, конструкция которой подробно описана в [8]. Отмечено удовлетворительное качественное и количественное совпадение результатов расчета распределения электрических потенциалов на поверхности расплава, при чем среднее отклонение экспериментальных данных от расчетных не превышает 8 %.

Для определения эффективности внедрения предлагаемой шестиэлектродной печи нами было произведено сравнение энергетических характеристик этой печи при питании постоянным током и аналогичной трехэлектродной печи той же емкости, работающей на переменном токе промышленной частоты (50 Гц) [9]. Установленная мощность печей в обоих вариантах принималась 150 МВА. Параметры трансформатора, короткой сети и ванны печи принимались по данным Магнитогорского металлургического комбината для ДСП-180 [9].

Расчет энергетических характеристик произведен нами по методике [10].

Для рассматриваемых вариантов печей вычислялись следующие параметры: P – активная мощность, МВт, Q – реактивная мощность, МВАр; $\cos \varphi$ – коэффициент мощности; $P_{пот}$ – активная мощность потерь, МВт; $P_{пол}$ – полезная мощность, МВт; η – электрический КПД.

Сравнительные результаты расчетов вариантов печей приведены на рис. 4. На рисунке показатели с индексами «б» соответствуют трехэлектродной печи, а показатели с индексами «п» – предлагаемой шестиэлектродной печи.

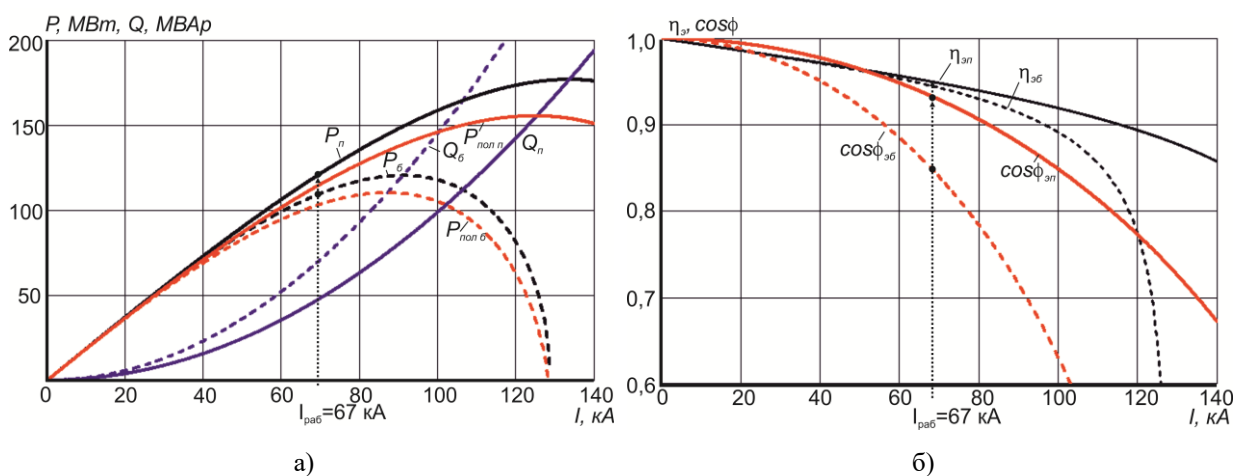


Рис. 4. Сравнительные энергетические характеристики печи при переменном токе промышленной частоты и при постоянном токе

По результатам расчета видно, что предлагаемая печь имеет следующие преимущества:

1. Более чем на 10% повышается коэффициент мощности, а также предельная активная и полезная мощности печи. То есть, появляется принципиальная возможность, не увеличивая ток печи, повысить ее мощность, а соответственно и производительность.

2. Более чем на 40% понижаются потери реактивной мощности, что позволяет сократить затраты на компенсацию реактивной мощности в системе электроснабжения.

3. Увеличивается электрический КПД (приблизительно на 1 %).

Выводы. Особенностью распределения электромагнитного поля в расплаве предложенной шестиелектродной дуговой печи, состоящей из трех сводовых и трех подовых электродов, при питании постоянным током является ряд симметричных свойств, в том числе центральная симметрия электромагнитного поля в средней по высоте части ванны. Это обстоятельство может способствовать улучшению равномерности распределения температуры в токопроводящих средах, обладающих небольшой электропроводностью, например, при выплавке неметаллических сплавов, различных концентратов и шлаков, где джоулев нагрев может играть ведущую роль в энергетических процессах.

Применение постоянного тока или тока пониженной частоты (в диапазоне 0,01-1 Гц) позволяет улучшить энергетические характеристики печи, а при использовании современных преобразователей напряжения снизить затраты на компенсацию реактивной мощности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адати Т. Сверхмощная 420-тонная электродуговая печь компании Tokyo Steel, Япония / Т. Адати, Р. Селлан // *Металлургическое производство и технология*. – 2012. – № 2. – С. 8–17.
2. A method for mixing molten metal and a compatible electric arc furnace / H. Mölder, J. Järvik, K. Janson [et al.] // *Estonian Journal of Engineering*. – 2011. – Vol 17, Issue 3. – P. 220–240.
3. Kazak O. Modelling magnetohydrodynamic processes in DC arc steelmaking furnace with bottom electrodes / O. Kazak, O. Semko // *Ironmaking & Steelmaking*. – 2010. – № 3. – P. 353–358.
4. The Peculiarities of Convective Heat Transfer in Melt of a Multiple-Electrode Arc Furnace / A. Kukharev, V. Bilousov, E. Bilousov, V. Bondarenko // *Metals*. – 2019. – № 9 (11), 1174.
5. Моделирование особенностей электрошлакового переплава на шестиелектродной бифилярной печи / Е. А. Волченков, А. П. Стовпченко, Л. Б. Медовар [и др.] // *Современная электрометаллургия*. – 2016. – № 4. – С. 3–9.
6. Патент № 119279 Україна, МПК F27D 11/10 (2006.01), H05B 7/144 (2006.01). Система электрооживлення багатоелектродної дугової печі : № u201700825 : заявл. 30.01.2017 : опубл. 25.09.2017 / Кухарев О. Л., Ковальчук А. О. – 4 с. – URL: <https://uapatents.com/6-119279-sistema-elektrozhiivlennya-bagatoelektrodno-dugovo-pechi.html?do=download>. – Текст : электронный.
7. Testoni P. Implementation in the ANSYS Finite Element Code of the Electric Vector Potential T-Ω,Ω Formulation / P. Testoni, P. Sonato // *International ANSYS Conference*, (Pittsburgh, USA May 24-26). – 2004. – 11 p.
8. Кухарев А. Л. Экспериментальная многоэлектродная установка для исследования энергетических процессов в токопроводящих расплавах / А. Л. Кухарев, В. В. Петренко // *Ресурсосберегающие технологии производства и обработки давлением материалов в машиностроении*. – 2018. – № 4 (25). – С. 64–71.
9. Анализ состояния конструкции, основных параметров и показателей работы большегрузных ДСП, действующих на металлургических заводах России / И. Ю. Зинуров, С. Г. Овчинников, А. М. Шумаков [и др.] // *Электрометаллургия*. – 2013. – № 3. – С. 2–6.
10. Короткие сети и электрические параметры дуговых электропечей : справочник / Я. Б. Данцис, Л. С. Кацевич, Г. М. Жилов [и др.]. – Москва : Металлургия, 1974. – 288 с.

Поступила в редакцию 22.09.2020 г.

SIX-ELECTRODE DC ARC FURNACE

Kukharev A.L., Belousov V.V., Nedopekin F.V.

The results of the study of the electromagnetic field in the melt bath of an improved arc furnace with a capacity of 180 tons, which has three roof arc and three bottom electrodes, and the angle between adjacent axes of the roof arc and bottom electrodes is 60°. It is shown that when such a furnace is supplied with direct current, the electromagnetic field has a number of symmetric properties. The improvement of the energy characteristics of the proposed furnace is noted in comparison with traditional three-electrode AC furnaces of industrial frequency.

Keywords: arc furnace, Lorentz forces, energy characteristics.

Кухарев Алексей Леонидович

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры электромеханики и транспортных систем Стахановского инженерно-педагогического института ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет им. Владимира Даля»,
ЛНР, г. Стаханов.
E-mail: alex.kuharev@mail.ru

Kukharev Aleksei Leonidovich

Candidate of Technical Sciences, Docent, Associate Professor at Department of Electromechanics and Transport Systems of Stakhanov Engineering and Pedagogical Institute of Lugansk State University named after Vladimir Dahl,
LPR, Stakhanov.

Белоусов Вячеслав Владимирович

доктор технических наук, профессор ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»,
ДНР, г. Донецк.

Belousov Viacheslav Vladimirovich

Doctor of Technical Sciences, Full Professor of Donetsk National University, Donetsk,
DPR, Donetsk.

Недопёкин Федор Викторович

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой физики неравновесных процессов, метрологии и экологии имени И.Л. Повха ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»,
ДНР, г. Донецк.

Nedopekin Fedor Viktorovich

Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Head of the Department of Physics of Nonequilibrium Processes, Metrology and Ecology named after I.L. Povkha of Donetsk National University,
DPR, Donetsk.

УДК 669.18:001.891.54

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСА ФУТЕРОВОЧНОГО СЛОЯ СТЕНКИ АГРЕГАТА КОВШ-ПЕЧЬ

© 2020 Беззуб А.А., Недопёкин Ф.В.

Данная статья посвящена вопросам моделирования гидродинамических и тепломассообменных процессов в агрегате ковш-печь (АКП). Изучено распределение температур по вертикали в футеровочном слое стенки АКП с помощью численного моделирования и представлены результаты численного эксперимента.

Ключевые слова: агрегат ковш-печь, численное моделирование, футеровочный слой, гидродинамические и теплофизические процессы.

Введение. Ковш-печь является незаменимым агрегатом в непрерывной цепочке технологических процессов внепечной обработки стали. АКП работает с агрессивной средой, при высоких температурах и давлении и служит для доводки стали по химическому составу и температуре. В нем проводятся такие операции, как легирование, десульфурация, гомогенизация, вакууммирование и др. Продувка (барботаж) расплава металла, позволяющая быстро перемешать металл для достижения его однородности по составу и температуре по всему объему ковша, находит в современной металлургии все более широкое применение.

Возникающие в агрегате гидродинамические и теплофизические процессы недостаточно изучены, что приводит к выбору неверных дутьевых режимов, следовательно, и к снижению качества отпускаемой продукции. Поэтому изучение характера гидродинамических и тепловых потоков при перемешивании расплава представляет большой интерес для металлургов [1].

Несмотря на широкое внедрение АКП, в производстве существует ряд проблем, решение которых существенно влияет на качество металла и износостойкость самого агрегата. Решение этих проблем путем лабораторного или промышленного эксперимента неэффективно и затратно. Поэтому целью данной работы является изучение АКП с помощью численного моделирования.

Постановка задачи. В представленной работе рассматривается ковш-печь Енакиевского металлургического завода. От завода были получены следующие входные данные, представленные в таблице 1 и на рис. 1 и 2.

Таблица 1 - Исходные заводские данные

Высота АКП, м	4,010
Радиус, м	3,660
Толщина рабочей футеровки, м	0,170
Диаметр электродов, м	0,45
Распад электродов, м	0,85
Начальная температура металла, К	1850
Время прогонки, с	2700

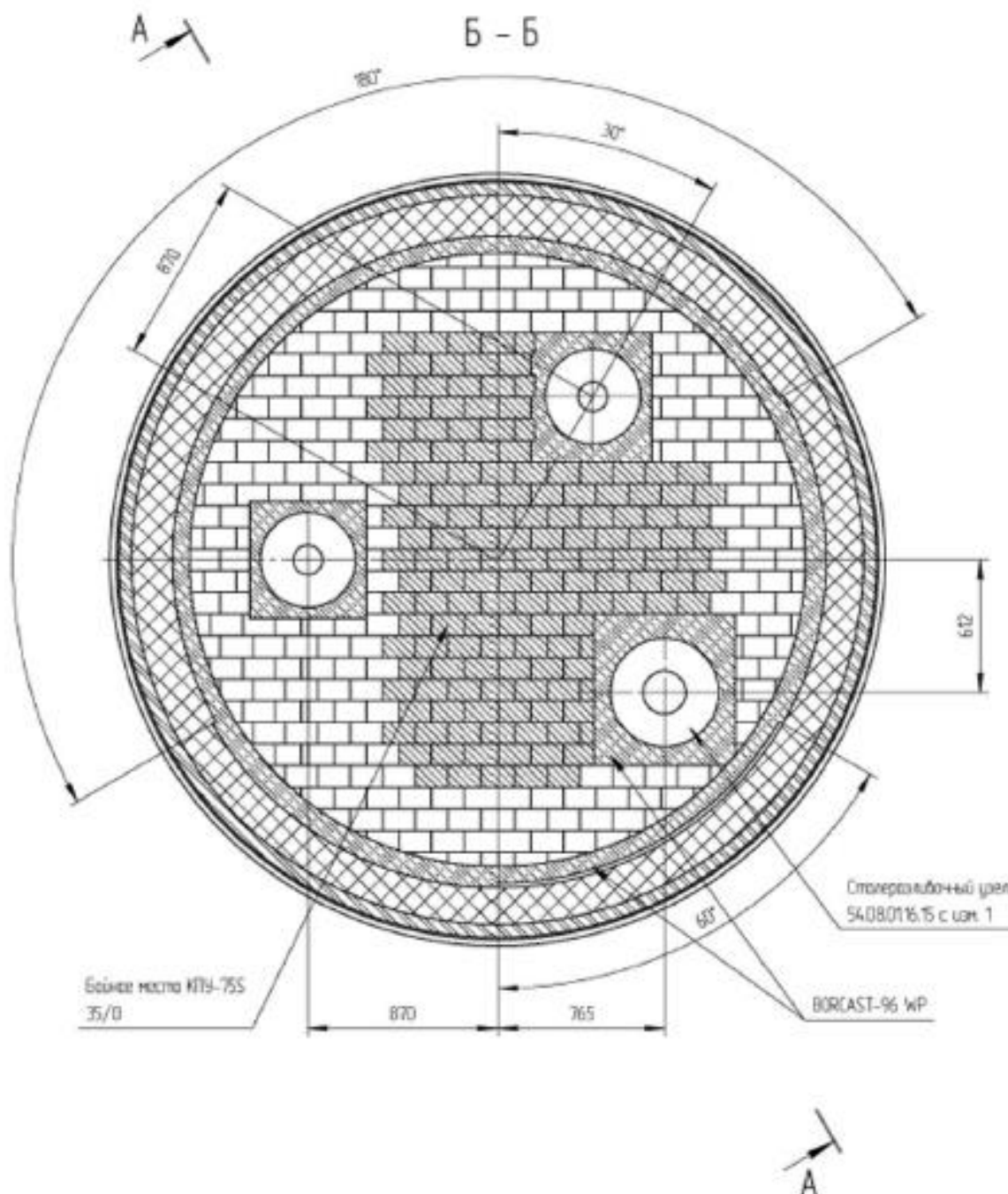


Рис. 2. Схема расположения продувочных устройств

Для упрощения моделирования ввиду симметричной формы АКП исследование производилось в плоскости двухмерного пространства, называемой вертикалью. Смещение вертикали производилось по часовой стрелке с шагом в 30 градусов. Начальное положение вертикали представлено на рис. 3. По результатам одной прогонки мы можем исследовать футеровочный слой только в местах пересечения вертикали и стенки ковша.

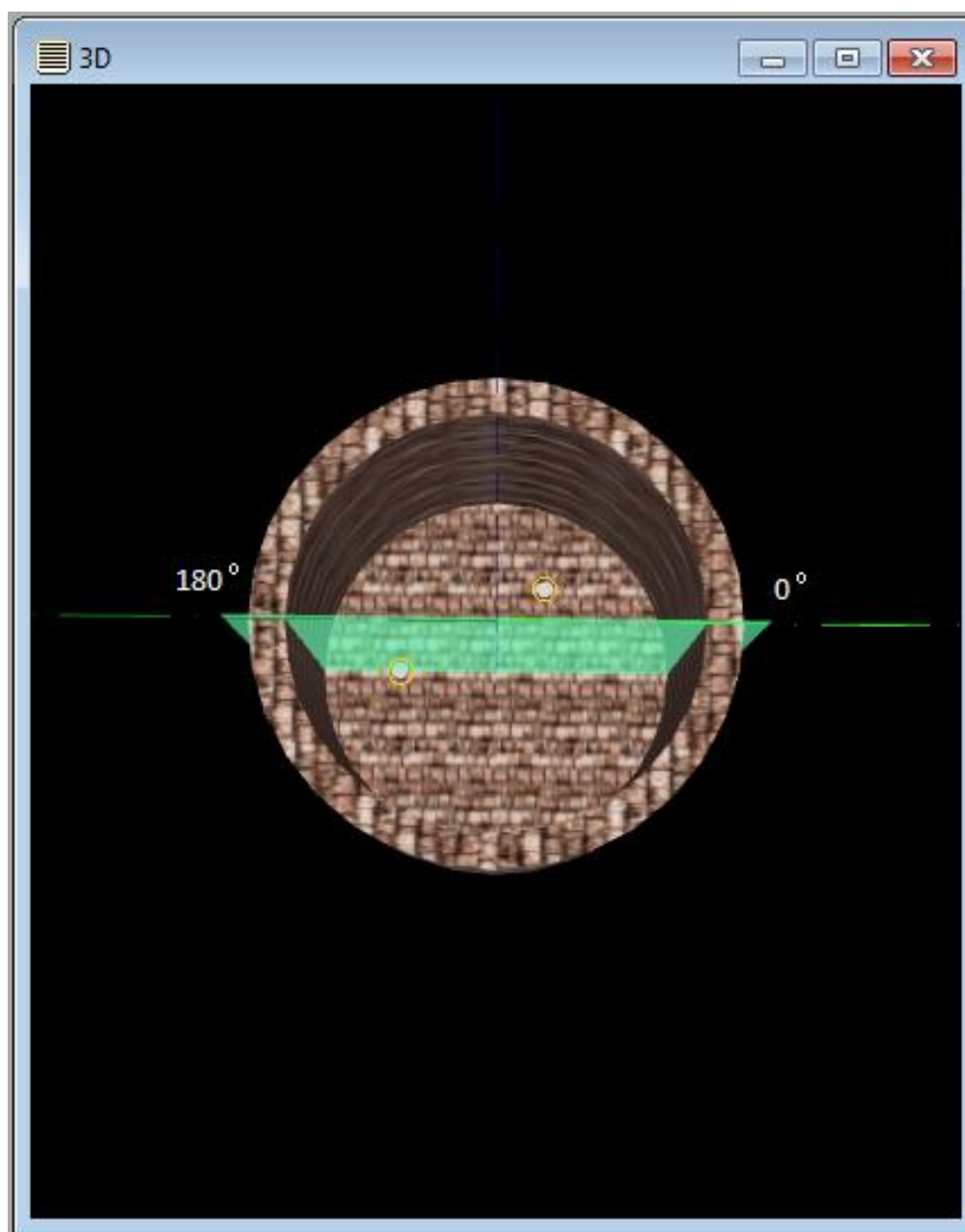


Рис. 3. Стартовое положение вертикали

Для численной реализации представленной модели АКП был разработан разностный метод расчета для решения системы двухмерного нелинейного дифференциального уравнения теплопроводности в частных производных. Построен вычислительный алгоритм, численно реализующий математическую модель на основе конечно-разностной аппроксимации по явной схеме с привлечением метода прогонки [2].

В результате прогонки мы получили ряд физических значений, а именно распределение температуры по блокам футеровочного слоя. По окончании численного моделирования, были получены значения температур, представленные на рис. 4-5 в виде графиков.



Рис.4. График распределения температуры по блокам футеровки
(при положении вертикали от 0 до 150°)

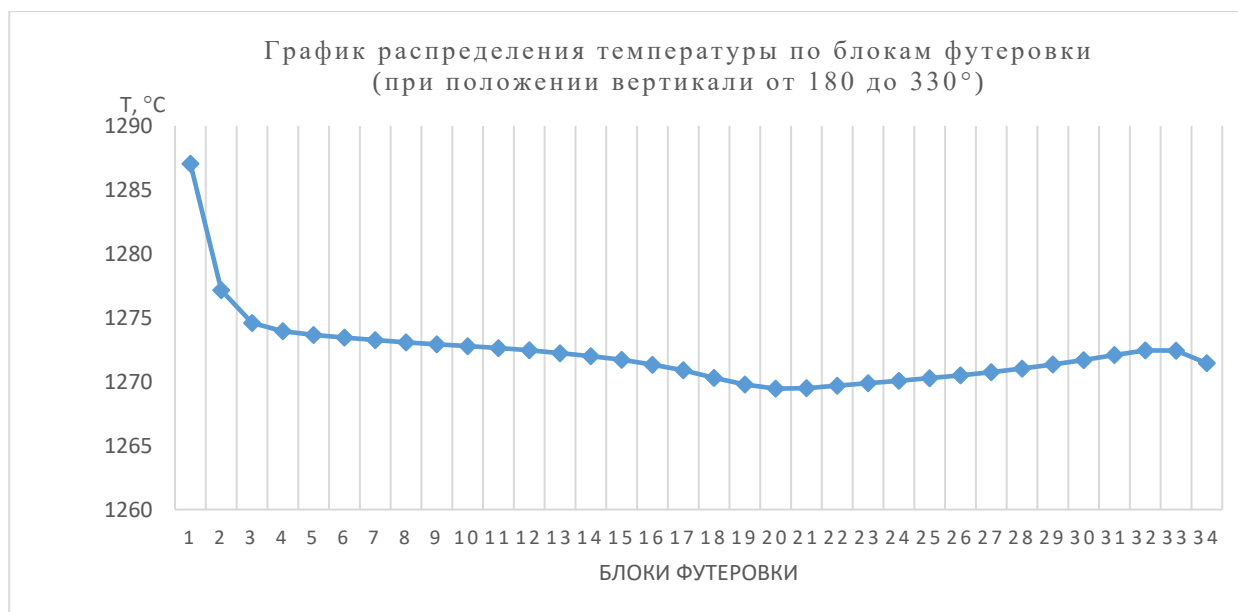


Рис.5. График распределения температуры по блокам футеровки
(при положении вертикали от 180 до 330°)

Изучение температуры производилось по истечению одного цикла прогонки модели, которая составляет 45 минут (время работы ковша-печи), мы можем предположить, что более тонкий слой удерживает меньшее количество тепла. При детальном изучении графиков максимальное сохранение значений температуры приходится на дно ковша, а также на нижнюю и верхнюю части стенки ковша. Большинство прогонок показало спад температуры в районе 20-21 блоков при положении вертикали от 180 до 330 градусов. Основываясь на результатах эксперимента, мы можем сделать вывод, что именно в этих местах и будет наблюдаться максимальное истощение стенки ковша.

Выводы. С помощью численного моделирования было исследовано тепловое состояние футеровочного слоя стенки агрегата ковш-печь, физические параметры которого были представлены специалистами Енакиевского металлургического завода. В ходе моделирования было выявлено предположительное место истощения футеровочного слоя, что требует дальнейшего изучения и подтверждения на практике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белоусов В. В. Численное моделирование процессов перемешивания при продувке ванны агрегата «ковш-печь» / В. В. Белоусов, Е. И. Куликов, В. Ф. Комаров // Математичне моделювання. – 2007. – № 2 (17). – С. 61–63.
2. Моделирование гидродинамических и теплофизических процессов в агрегате ковш-печь / А. А. Беззуб, В. В. Белоусов, Ф. В. Недопёкин [и др.] // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. – 2020. – № 3. – С. 66–71.

Поступила в редакцию 06.11.2020 г.

RESEARCH OF WEAR OF THE LINING LAYER OF THE WALL OF THE LADLE-FURNANCE

Bezzub A.A., Nedopekin F.V.

This article is devoted to the issues of modeling hydrodynamic and heat and mass transfer processes in the ladle-furnace unit (LF). The vertical distribution of temperature in the lining layer of the LF was studied using numerical modeling and experimental results.

Keywords: ladle-furnace unit, numerical modeling, lining layer, hydrodynamic and thermophysical processes.

Беззуб Александра Андреевна

аспирант заочной формы обучения кафедры физики неравновесных процессов, метрологии и экологии им. И.Л. Повха, ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»,
ДНР, г. Донецк.
E-mail: apilipec@mail.ru

Bezzub Alexandra Andreevna

Post-graduate student of extramural studies at the Department of Physics of Nonequilibrium Processes, Metrology and Ecology named after I.L. Povha of Donetsk National University,
DPR, Donetsk.

Недопёкин Федор Викторович

доктор технических наук, профессор, и.о. заведующего кафедрой физики неравновесных процессов, метрологии и экологии им. И.Л. Повха, ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»,
ДНР, г. Донецк.

Nedopekin Fedor Viktorovich

Doctor of Technical Sciences, Professor, Acting Head of the Department of Physics of Nonequilibrium Processes, Metrology and Ecology I.L. Povha, of Donetsk National University,
DPR, Donetsk.

УДК 69.022

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕОБХОДИМОЙ ТОЛЩИНЫ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО СЛОЯ

© 2020 Сафьянц С.М., Патана Ю.Р., Гридин С.В.

В работе представлена методика определения толщины теплоизоляционного слоя методом планирования эксперимента за ортогональным композиционным планом второго порядка.

Ключевые слова: теплоизоляционный слой, теплотеплотери, теплопередача, энергосбережение.

Введение. Теплоизоляционные материалы в том или ином виде давно используются при строительстве домов, например, для утепления потолков, стен, перекрытий, тепловых сетей и пр. Но при существовавших ранее низких требованиях к характеристикам теплоизоляции ограждающих конструкций (коэффициент термосопротивления R примерно равен 1) к вопросу выбора теплоизоляционных материалов подходили не так тщательно, как сейчас [1]. Энергетический кризис и резко возросшая стоимость энергии заставили проектировщиков и строителей пересмотреть строительные правила и стандарты в сторону повышения в несколько раз термосопротивления ограждающих конструкций зданий ($R=3$ и более). Решением стало утепление за счет добавления наружных слоев теплоизоляции к ограждающим конструкциям домов, построенных по традиционной технологии, или же постройка новых домов на основе легкого несущего каркаса, заполненного эффективным утеплителем, с отделкой внутри и снаружи тонкими сборными плитами (или матами) из композитных материалов. В условиях централизованного теплоснабжения без поквартирного регулирования тепловой нагрузки подобные мероприятия не являются энергосберегающими, т.к. количество теплоты, поступающей в систему отопления здания, не изменится и будет соответствовать температурному графику котельной [2]. Однако таким способом можно повысить температуру воздуха внутри квартир путём снижения потерь тепла через ограждающие конструкции.

Таким образом, поскольку основной строительный объем зданий и конструкций сейчас занимают теплоизоляционные материалы, актуальной проблемой становится определение необходимой толщины теплоизоляционного слоя.

Постановка проблемы. Анализ свойств теплоизоляционных материалов посвящены работы Ю.Л. Боброва, Е.Г. Овчаренко, Б.М. Шойхет, Е.Ю. Петухова [3], Воробьева В.А. и Андрианова Р.А. [4] и В.П. Хоменко, Г.Г. Фаренюк [5].

В работах [6-8] детально проанализированы теплотехнические и физические характеристики различных теплоизоляционных материалов и технологий, способы их производства и варианты применения.

В работе [6] исследовано применение теплоизоляционных материалов для утепления ограждающих конструкций зданий различного назначения. Установлено, что оптимальной считается толщина утепления, позволяющая создать сопротивление теплопередаче, при котором температура внутренней поверхности стены отличается от температуры внутреннего воздуха не более чем на 6°C .

В работе [7] исследовано применения теплоизоляционных материалов для утепления ограждающих конструкций зданий различного назначения.

В работе [8] детально рассмотрено определение тепловых характеристик зданий различного назначения, расчет тепловых нагрузок и др.

Большой вклад в исследование теплотехнических процессов в зданиях и сооружениях внес В.Н. Богословский в своей работе «Строительная теплофизика» [9].

В целом, при рассмотрении научной и технической литературы, посвященной исследованию вопросов применения теплоизоляционных материалов для утепления ограждающих конструкций зданий, можно сделать вывод о недостаточном изучении проблем соответствия характеристик теплоизоляции ограждающих конструкций требованиям современных конструктивных решений по утеплению зданий.

Основная часть. Целью работы является разработка методики определения необходимой толщины теплоизоляционных материалов и утеплителей на основе экспериментально полученных функциональных зависимостей их свойств и характеристик.

Эксперимент проводился зимой в г.Донецке при температуре наружного воздуха $t = -23^{\circ}\text{C}$ (температура воздуха с наружной стороны ограждения берется равной расчетной температуре данной местности, определяемой по данным, изложенным в [10]). Для эксперимента были выбраны 3 здания с различной конструкцией ограждающих стен:

1. Стена, состоящая из кирпичной кладки (сплошной глиняный кирпич толщиной $\delta_k=620$ мм на цементно–песчаном растворе, коэффициент теплопроводности $\lambda_k=0,7$ Вт/м·К), двух вертикальных растворных швов толщиной $\delta_p=10$ мм каждый ($\lambda_p=0,76$ Вт/м·К) и слоя известково–песчаной штукатурки с внутренней стороны стены толщиной $\delta_{ш}=2$ мм ($\lambda_{ш}=0,7$ Вт/м·К).

2. Стена, состоящая из двух плит бетонита толщиной $\delta_b=400$ мм каждая ($\lambda_b=1,28$ Вт/м·К), вертикального цементно–песчаного растворного шва толщиной $\delta_p=10$ мм ($\lambda_p=0,7$ Вт/м·К) и двух слоев известково–песчаной штукатурки с обеих сторон стены толщиной $\delta_{ш}=2$ мм каждый ($\lambda_{ш}=0,7$ Вт/м·К).

3. Стена, состоящая из железного каркаса, заполненного керамзитобетоном толщиной $\delta_{кб}=150$ мм ($\lambda_{кб}=0,44$ Вт/м·К), облицованная красным кирпичом на цементно–песчаном растворе толщиной $\delta_k=500$ мм ($\lambda_k=0,7$ Вт/м·К, $\lambda_p=0,7$ Вт/м·К).

Коэффициенты теплопроводности материалов выбирались по [10].

Определение термических сопротивлений каждой стены осуществлялось по методике [7].

Эксперимент проводился для утеплителей разных видов (плиты и маты теплоизоляционные из минеральной ваты, изолон-пенополиэтилен, пенополиуретан, жидкая керамическая теплоизоляция), разных толщин (стандартных для каждого теплоизолятора), с разными коэффициентами теплопроводности λ (значения коэффициентов теплопроводности λ изменялись в пределах от 0,001 до 0,051 Вт/м·К) [4, 5].

В ходе эксперимента для дальнейших расчетов выбирались только те данные, при которых в помещении сохранялась заданная температура $t_b=18^{\circ}\text{C}$ (согласно требований СНиП [10]).

С целью определения наиболее эффективной толщины теплоизоляционного слоя выполнена математическая обработка полученных экспериментальных данных методом планирования эксперимента с использованием ортогонального композиционного плана второго порядка [2].

Были выбраны 3 наиболее значимых фактора:

- термическое сопротивление изолируемой стены R , ($\text{м}^2\cdot\text{K}$)/Вт (термическое

сопротивление рассчитывалось в диапазоне значений от 0,65 до 1,3(м²·К)/Вт для конструкций ограждающих стен, описанных выше);

- температура наружного воздуха t_n , °С (для того, чтобы уравнение было универсальным и могло применяться для зимних климатических условий большей части территории Донбасса, максимальной низкой температурой наружного воздуха принималась $t_n = -25$ °С, а минимальной «плюсовой» температурой $t_n = 6$ °С [10]);

- коэффициент теплопроводности изоляционного материала λ_n , Вт/м·К (был использован широкий диапазон изменения коэффициента теплопроводности, от 0,001 до 0,051 Вт/м·К, что позволило охватить практически весь диапазон применяющихся в строительстве современных теплоизоляционных материалов).

Уровни переменных в условном и натуральном масштабе, а также схема планирования эксперимента приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. Уровни переменных в условном и натуральном масштабе

Исследуемые компоненты	Фактор	Средний уровень, нат. ед.	Шаг варьирования, нат. ед.	Значения уровней переменных в нат. ед., соответствующие усл.ед.				
				-1,21	-1	0	+1	+1,21
Термическое сопротивление изолируемой стенки R, (м ² ·К)/Вт	X ₁	0,95	0,25	0,65	0,7	0,95	1,2	1,25
Температура наружного воздуха t_n , °С	X ₂	-9,5	-15,5	9,3	6	-9,5	-25	-28,3
Коэффициент теплопроводности изоляционного материала λ_n , Вт/м·К	X ₃	0,026	0,025	-0,004	0,001	0,026	0,051	0,056

Таблица 2. Схема планирования эксперимента

Номер опыта	Дозировка исследуемых компонентов					
	усл. ед.			нат. ед.		
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃
1	2	3	4	5	6	7
1	-1	-1	-1	0,7	6	0,001
2	+1	-1	-1	1,2	6	0,001
2	-1	+1	-1	0,7	-25	0,001
4	+1	+1	-1	1,2	-25	0,001
5	-1	-1	+1	0,7	6	0,051
6	+1	-1	+1	1,2	6	0,051
7	-1	+1	+1	0,7	-25	0,051
8	+1	+1	+1	1,2	-25	0,051
9	-1,21	0	0	0,65	-9,5	0,026
10	+1,21	0	0	1,25	-9,5	0,026
11	0	-1,21	0	0,95	9,3	0,026
12	0	+1,21	0	0,95	-28,3	0,026
13	0	0	-1,21	0,95	-9,5	-0,004
14	0	0	+1,21	0,95	-9,5	0,056
15	0	0	0	0,95	-9,5	0,0026

Анализ результатов. Кодовые значения факторов и интервалы варьирования связаны между собой натуральными отношениями:

$$x_1 = \frac{R - R_0}{e_1} = \frac{R - 0.95}{0.25}; \quad x_2 = \frac{t - t_0}{e_2} = \frac{t - (-9.5)}{-15.5}; \quad x_3 = \frac{\lambda - \lambda_0}{e_3} = \frac{\lambda - 0.026}{0.025}. \quad (1)$$

Для определения толщины теплоизоляционного слоя составляется уравнение регрессии следующего вида:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 \dots \quad (2)$$

Расчет коэффициентов проводился по формулам (3):

$$\begin{aligned} b_1 &= \sum 15 / \sum 4, \quad b_{12} = \sum 21 / \sum 10, \quad b_2 = \sum 16 / \sum 5, \quad b_{13} = \sum 22 / \sum 11, \\ b_3 &= \sum 17 / \sum 6, \quad b_{23} = \sum 23 / \sum 12, \quad b_{11} = \sum 18 / \sum 7, \quad b_{22} = \sum 19 / \sum 8, \\ b_{33} &= \sum 20 / \sum 9, \quad b_3 = \frac{\sum 17}{15} + (-0.73b_{11}) + (-0.73b_{22}) + (-0.73b_{33}). \end{aligned} \quad (3)$$

После проведения расчетов было получено уравнение регрессии:

$$\begin{aligned} y &= -0.0055 - 0.0061x_1 + 0.0178x_2 + 0.03x_3 + 0.0074x_1^2 + 0.016x_2^2 + 0.023x_3^2 + \\ &+ 0.002x_1x_2 - 0.0065x_1x_3 + 0.015x_2x_3. \end{aligned} \quad (4)$$

После перехода от уравнения регрессии с кодовыми переменными к соответствующим физическим величинам (в натуральном масштабе) получена следующая функциональная зависимость:

$$\begin{aligned} y &= 0.094 - 0.447R + 0.0018t - 0.09\lambda + 0.118R^2 + 0.00007t^2 + 36.8\lambda^2 - \\ &- 0.00052Rt - 1.04R\lambda - 0.039t\lambda. \end{aligned} \quad (5)$$

Выводы. В данной работе представлены результаты экспериментов по применению теплоизоляционных материалов различных толщин (от 1 мм до 150 мм) для ограждающих конструкций трех наиболее распространенных в регионе видов.

Для математической обработки данных наиболее значимыми величинами являются: термическое сопротивление ограждающей конструкции R , $(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$, температура наружного воздуха $t_n, ^\circ\text{C}$ и коэффициент теплопроводности теплоизоляционного материала λ_n , $\text{Вт}/\text{м} \cdot \text{К}$, которые. В результате обработки этих величин методом планирования эксперимента с использованием ортогонального композиционного плана второго порядка была получена функциональная зависимость в виде уравнения (5).

Для проведения упрощенных расчетов по полученной формуле при проектировании наружных ограждений зданий в качестве нормативных значений допустимо принимать минимальные значения термического сопротивления стены равными $R=1$ $(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$. В этом случае остается выбрать теплоизоляционный материал, подходящий по тем или иным показателям (цена, качество, место расположение производителя и т.д.), с соответствующим коэффициентом теплопроводности λ , $\text{Вт}/\text{м} \cdot \text{К}$ (согласно технических характеристик материала), определить в соответствии со СНиП 2.04.05 – 91*У и с учетом тепловой инерции ограждающих конструкций здания температуру наружного воздуха ($t_n, ^\circ\text{C}$), характерную для климатических условий места расположения и разновидности наружного ограждения здания. Все эти данные требуется подставить в формулу (5) для определения необходимой толщины теплоизоляционного слоя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Международный опыт повышения энергоэффективности зданий : сборник материалов. – Минск : АЛТИОРА - ЖИВЫЕ КРАСКИ, 2012. – 289 с.
2. Методические указания для самостоятельной работы студентов к курсовой работе «Тепловая защита зданий» / составитель С. В. Гридин. – Донецк : ДонНТУ, 2013. – 38 с.
3. Теплоизоляционные материалы и конструкции : учебник для средних профессионально-технических учебных заведений / Ю. Л. Бобров, Е. Г. Овчаренко, Б. М. Шойхет, Е. Ю. Петухова. – Москва : ИНФРА-М, 2003. – 268 с.
4. Воробьев В. А. Полимерные теплоизоляционные материалы / В. А. Воробьев, Р. А. Андрианов. – Москва : Стройиздат, 1972. – 320 с.
5. Хоменко В. П. Справочник по теплозащите зданий / В. П. Хоменко, Г. Г. Фаренюк. – Київ : Будівельник, 1986. – 216 с.
6. Вакунин Е. И. Анализ способов энергосбережения и повышения энергоэффективности жилых зданий / Е. И. Вакунин // Известия ТулГУ. Науки о земле. – 2011. – Вып.1. – С. 41–46
7. Шарапов В. И. О некоторых законодательных и нормативных актах в области теплоснабжения / В. И. Шарапов // Энергосбережение в городском хозяйстве, энергетике, промышленности : сборник научных трудов Шестой Международной научно-технической конференции. – Ульяновск : УлГТУ, 2013. – С. 37–54.
8. Шеина С. Г. Оценка эффективности программ энергосбережения в жилищном фонде на примере г. Ростова-на-Дону / С. Г. Шеина, Л. Л. Никульшина, Е. В. Чулкова // Интеграция, партнерство и инноваций в строительной науке и образовании : сборник трудов международной научной конференции. – Москва : МГСУ, 2011. – С. 652–655.
9. Богословский В. Н. Тепловой режим здания / В. Н. Богословский. – Москва : Стройиздат, 1979. – 248 с.
10. СНиП II-3-79* Строительная теплотехника. – Москва : Минстрой России, 1995. – 29 с.

Поступила в редакцию 09.11.2020 г.

DETERMINATION OF THE NECESSARY THICKNESS OF HEAT INSULATION LAYER

Safiants S.M., Patana Iu.R., Gridin S.V.

In the paper the stage method of determination thickness of heat insulation layer by the method planning of experiment after an orthogonal composition plan the second order.

Keywords: heat insulation layer, heat loss, heat transfer, energy saving.

Сафьянц Сергей Матвеевич

доктор технических наук, профессор, декан факультета металлургии и теплоэнергетики, заведующий кафедрой промышленной теплоэнергетики, ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», ДНР, г. Донецк.
E-mail: kafedra_pt@donntu.org

Safiants Sergei Matveevich

Doctor of Engineering Sciences, Full Professor, Dean of the Faculty to Metallurgy and Heat and Power Engineering, Chef at Department «Industrial Heat and Power Engineering» of Donetsk National Technical University, DPR, Donetsk.

Патана Юлия Руслановна

магистрант 1-го года обучения кафедры промышленной теплоэнергетики ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», ДНР, г. Донецк.
E-mail: yuliya.pat@mail.ru

Patana Iuliia Ruslanovna

Master student 1-st year of the Education at Department «Industrial Heat and Power Engineering» of Donetsk National Technical University, DPR, Donetsk.

Гридин Сергей Васильевич

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры промышленной теплоэнергетики ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», ДНР, г. Донецк.
E-mail: gridin@donntu.org

Gridin Sergei Vasilevich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at Department «Industrial Heat and Power Engineering» of Donetsk National Technical University, DPR, Donetsk.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА И ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА

УДК 665.7+504

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ ДИЗЕЛЬНЫХ МАСЕЛ М14В₂ ПУТЁМ ПРИМЕНЕНИЯ РЕЦИРКУЛЯЦИИ КОАГУЛЯЦИОННОГО ОСАДКА

© 2020 *Симоненко А.П., Золотарёва И.А., Ключко Н.Ю.*

Результаты анализа процессов реагентной очистки дизельных масел М14В₂ показывают, что в большинстве случаев в очищенных маслах остаются микрозагрязнения (сажистые и смолоподобные частицы) с размерами менее 0,1 мкм, наличие которых ухудшает их оптические свойства. Кроме этого, установлено, что полное термоосаждение образовавшихся из сажистых частиц и воды хлопьев (флокул), в поле сил тяжести, достигается в течение 24-30 часов. В настоящей статье предложен способ повышения эффективности очистки масел М14В₂ путем применения рециркуляции ранее полученного коагуляционного осадка.

Ключевые слова: масла М14В₂, микрозагрязнения, алкилбензолсульфокислота, триэтанолламин, рециркуляция коагуляционного осадка.

Состояние проблемы. Ускорению процесса осаждения механических примесей и смолистых соединений из очищаемого масла может способствовать введение в исходную масляную дисперсию ранее полученного коагуляционного осадка, т.е. применение процесса его рециркуляции.

Предлагаемая технология включает удаление механических примесей, отгонку воды и легких углеводородных фракций, удаление газойлевых фракций, экстракцию масляных фракций осадительными растворителями. При этом часть смолисто-асфальтеновых соединений, после экстракции, рециркулируют в экстракционный аппарат. Последняя операция позволяет снизить содержание сконденсированных ароматических углеводородов вследствие их растворения в оседающих смолах. При этом в очищенном масле сохраняются присадки: депрессорные и вязкостные – полностью; моющие, диспергирующие и антиокислительные – частично (до 30 %).

Применение рециркуляции осадка на стадии коагуляции мехпримесей, воды и смол из отработанного моторного масла приводит к ускорению осаждения загрязняющих веществ (менее 24 часов) по сравнению с ранее предложенными технологиями.

Предложенный в работах [1-4] способ эффективен для очистки большинства моторных масел от мехпримесей и воды, но в ряде случаев (например, для дизельных масел) после обработки в очищенном масле остаются микрозагрязнения (сажистые и смолоподобные частицы) с размерами менее 0,1 мкм, которые ухудшают его оптические свойства. При этом, полное осаждение хлопьев (флокул) из сажистых частиц и воды с коагулянтами достигается в течение 24-30 часов. Большой промежуток времени осаждения (осветления) масел снижает экономические показатели процесса очистки. Получаемый осадок может содержать (в зависимости от условий обработки и характера загрязнений) более 30 масс. % масляной составляющей, что, в свою очередь, снижает выход очищенного масла, повышает удельные затраты дорогостоящих химических

реагентов, а также влияет на эффективность процессов очистки масла в целом. Создание оптимальных условий коагуляции и адгезии мелкодисперсных и смолоподобных частиц с крупнодисперсными сажистыми образованиями обеспечивает более полное и быстрое удаление всех загрязнений. За счет этого улучшается качество очищенного масла, снижается время его очистки и улучшаются экономические показатели процесса.

В ходе экспериментальных исследований установлено, что в способе очистки выбракованного моторного масла путем последовательной обработки водомаслорастворимыми алкилбензолсульфокислотами в количестве $0,5-1,0$ масс. % и аминоспиртами в количестве $0,5-1,0$ масс. %, с последующим отделением очищенного масла, в отработанное масло необходимо предварительно вводить маслосодержащие отходы очистки такого же масла в количестве $3-6$ масс. %.

В процессе очистки моторных масел по технологии [1-4] образуется высоковязкий при 20°C осадок, который содержит, кроме масла, большие образования из сажистых частиц, воды, смолистых соединений и химических реагентов (алкилбензолсульфокислоту, триэтаноламин и их соли). Маслосодержащий осадок является гетерогенной системой, обладающей определенной поверхностной активностью, щелочной способностью (ЩЧ составляет более 20 мг KOH/g).

Предварительное смешивание исходного отработанного масла с осадками позволяет частично нейтрализовать кислые продукты, а также осуществить первичную адгезию микрочастиц сажи за счет больших сажистых хлопьев (агрегатов), которые вносятся с маслосодержащими отходами.

Последующее добавление АБСК дестабилизирует действие диспергирующих присадок, сохранившихся в масле, а введение ТЭА окончательно флокулирует частицы сажи и воды в более крупные агрегаты, по сравнению с полученными при очистке без вышеупомянутого осадка. Наличие большого количества центров коагуляции и адгезии позволяет эффективно удалить микрочастицы и взвешенные смолоподобные соединения, которые влияют на цвет очищенного масла. Кроме этого, увеличение размеров более плотных сажистых укрупнённых образований и снижение их пористости содействует уплотнению новых регенерируемых осадков, что снижает в них содержание масляной составляющей.

В настоящем экспериментальном исследовании, в качестве очищаемого масла было использовано отработанное дизельное масло M14B2 со следующими показателями загрязненности: мехпримеси - $5,0$ масс. %, вода - $2,0$ масс. %. Кроме этого, следует отметить, что это масло было выбраковано по показателю щелочного числа ($1,45\text{ мг KOH/g}$) и $pH=6,85$, загрязненности по оптической плотности (1108 усл.ед.). Масло представляло собой черную суспензию с повышенными вязкостью и плотностью при 20°C - 900 кг/м^3 .

В качестве кислотного реагента в ходе эксперимента была использована алкилбензолсульфокислота (АБСК) с молекулярной массой 300 усл. ед. и плотностью при 20°C - 1140 кг/м^3 . В качестве щелочного реагента был использован триэтаноламин (ТЭА) с плотностью при 20°C - 1120 кг/м^3 .

На первом этапе очистки от механических примесей, воды и части смолистых соединений, согласно [1-4], в реактор помещали 1000 г отработанного масла, при перемешивании нагревали до $60-65^{\circ}\text{C}$ и прибавляли 5 г АБСК, после этого дополнительно перемешивали смесь в течение 5 мин , а затем, при перемешивании, в реактор вводили 10 г ТЭА и окончательное смешивание проводили в течение 15 мин при 60°C . Полученную смесь отстаивали при этой же температуре в течение 24 часов. В результате отстаивания было получено 865 г масла, очищенного от механических частиц

и воды, и 150 г маслосодержащего осадка. Расчеты показали, что осадок содержит до 43 масс. % масляной составляющей (65 г), что соответствует около 7 масс. % масла, содержащегося в исходном продукте.

Показатели процесса очистки определяли по следующим параметрам: $M_{ос}$, масс. % – содержание масляной составляющей в генерируемом осадке; t , час – время отстаивания; A , усл.ед. – загрязненность масла по оптической плотности; $M_{уд}$, г/кг – удельные затраты реагентов на получение очищаемого масла. Результаты исследований приведены в таблице 1.

Дальнейшие исследования проводили с введением в очищаемое масло предварительно полученного коагуляционного осадка. Первоначально в реактор помещали 1000 г исходного отработанного масла, 40 г маслосодержащих отходов, полученных при предварительной очистке такого же масла, и при перемешивании нагревали до 60-65° С. В полученную смесь дозатором вводили 5 г АБСК и перемешивали в течение 5 мин. После этого в подкисленное масло добавляли 10 г ТЭА. При температуре 60° С проводили окончательное перемешивание компонентов в течение 15 мин и отстаивали при той же температуре. Через 15 часов происходило полное осаждение всех мехпримесей и воды. В результате было получено 909 г очищенного масла и 146 г маслосодержащего осадка. Содержание масляной составляющей в осадке уменьшилось до 26,1 масс. %, загрязненность масла по оптической плотности достигла 31 усл.ед., а удельные затраты реагентов, в сравнении с прототипом, снизились с 17,3 до 16,5 г/кг. В таблице 1 приведены результаты обработки данных эксперимента с различным содержанием маслосодержащих осадков - от 0 до 7 масс. %.

Таблица 1. Результаты очистки отработанного дизельного масла М14В₂

№	Затраты химических реагентов и показатели процесса	Количество маслосодержащего осадка, масс. %					
		0	2	3	4	6	7
АБСК – 0,5 масс. %, ТЭА - 0,5 масс. %							
1.	M_{oc} , масс. %	74,2	74,4	63,4	59,9	49,7	60,0
2.	t , час	29	24	20	20	15	15
3.	A , усл. ед.	69	50	42	40	35	38
4.	$M_{уд}$, г/кг	14,3	12,9	12,5	12,1	11,4	12,0
АБСК – 0,5 масс. %, ТЭА - 1,0 масс. %							
1.	M_{oc} , масс. %	43,3	41,3	30,5	26,2	16,6	19,4
2.	t , час	24	20	18	15	13	13
3.	A , усл. ед.	65	58	40	31	28	27
4.	$M_{уд}$, г/кг	17,3	17,2	16,7	16,5	16,1	16,1
АБСК – 1,0 масс. %, ТЭА - 0,5 масс. %							
1.	M_{oc} , масс. %	51,4	47,4	39,6	36,6	36,6	44,7
2.	t , час	22	20	19	16	15	15
3.	A , усл. ед.	61	50	42	35	30	30
4.	$M_{уд}$, г/кг	17,9	17,5	17,0	16,9	16,8	17,2
АБСК – 1,0 масс. %, ТЭА - 1,0 масс. %							
1.	M_{oc} , масс. %	35,7	30,1	24,7	20,3	17,2	18,3
2.	t , час	20	18	15	13	13	13
3.	A , усл. ед.	59	52	40	35	30	29
4.	$M_{уд}$, г/кг	22,7	22,4	22,1	21,9	21,6	21,6

Эффективность использования маслосодержащих осадков, как инициаторов и ускорителей осаждения загрязнений в очищаемом масле, в количестве от 3 до 6 масс. %, на исходное отработанное масло, объясняется следующим. Введение менее 3 масс. % крупных сажистых образований является недостаточным для существенного снижения количества масляной составляющей в осадке из-за его недостаточного уплотнения. В тоже время, увеличение дозы масляной суспензии (более 6 масс. %) вносит значительное количество сажистых загрязнений, на которые распространяется действие той же дозы реагентов. Поэтому при этом не увеличивается скорость осаждения сфлуктурированных агрегатов и растёт величина масляной составляющей в осадках.

Из данных таблицы 1 следует, что для данного образца дизельного масла М14В₂ наибольшую эффективность очистки можно достичь при следующем реагентном режиме (АБСК – 0,5 масс. %, ТЭА – 1,0 масс. % и добавлении 6 масс. % маслосодержащего осадка). При этом почти в три раза снижается содержание масляной составляющей в осадке (до 16,6 масс. %), что позволяет эффективно использовать применяемые химические реагенты. Снижение затрат последних составляет 1,2 г/кг или 1,2 кг/т очищаемого масла, что имеет существенное значение при многотоннажном производстве.

Следует отметить, что качество масла заметно улучшилось (загрязненность по оптической плотности снизилась более чем в 2 раза) за время полного осаждения загрязнений равное 13 часам. Сокращение времени осаждения позволяет вдвое продуктивнее использовать оборудование для очистки масла, что также влияет на экономическую эффективность процесса.

Выводы. Обоснована возможность применения рециркуляции коагуляционного осадка для глубокой очистки дизельных масел М14В₂. Установлено, что для данного образца отработанного масла наиболее эффективным является композиционный реагент следующего состава: алкилбензолсульфоокислота – 0,5 масс. %, триэтаноламин – 1,0 масс. % и 6 масс. % маслосодержащего осадка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент № 39145, Україна, МПК с10м 175/00. Спосіб регенерації відпрацьованого моторного мастила : № 97062989 : заявл. 23.06.1997 : опубл. 15.06.2001 / Симоненко О. П., Узденников М. Б. ; заявник і патентовласник Донецький національний університет. – Бюл. № 5.
2. Симоненко А. П. Эффективный способ очистки отработанных дизельных масел М14В₂ / А. П. Симоненко, Н. Б. Узденников // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури : збірник наукових праць. – Маціївка, 2001. – Вип. 2001-2(27) : Інженерні системи та техногенна безпека у будівництві. – С. 52-54.
3. Симоненко, А. П. Способ очистки отработанных дизельных масел М14В₂ / А. П. Симоненко, Н. Б. Узденников // «Донбасс-2020. Охорона довкілля та екологічна безпека» : збірник доповідей науково-практичної конференції. – Донецьк, 2001. — Том 1. — С. 55-63.
4. Симоненко А. П. Гидродинамически-активные композиции на основе полимеров и поверхностно-активных веществ для решения проблем экологической безопасности и энергосбережения : специальность 21.06.01 «Экологическая безопасность» : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Симоненко Александр Петрович ; Донецкий национальный университет. – Донецьк, 2012. – 408 с.

Поступила в редакцию 14.07.2020 г.

THE INCREASING EFFICIENCY OF CLEANING DIESEL OILS M14B₂ BY USING
RECIRCULATION OF COAGULATION SEDIMENT

Simonenko A.P., Zolotareva I.A., Kliuchko N.Iu.

The results of the analysis of the processes for the reagent purification of M14B₂ diesel oils show that in most cases microcontaminants (soot and tar-like particles) with sizes less than 0.1 µm remain in the purified oils, the presence of which impairs their optical properties. In addition, it was found that complete thermal deposition of flakes (flocs) formed from soot particles and water in the field of gravity is achieved within 24-30 hours. This article proposes a way to improve the efficiency of cleaning oils M14B₂ by applying recirculation of the previously obtained coagulation sediment.

Keywords: M14B₂ oils, microcontaminations, alkylbenzenesulfonic acid, triethanolamine, coagulation sediment recirculation.

Симоненко Александр Петрович

доктор технических наук, старший научный сотрудник, профессор кафедры физики неравновесных процессов, метрологии и экологии им. И.Л. Повха; ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»,
ДНР, г. Донецк.
E-Mail: sap2012@rambler.ru

Simonenko Aleksandr Petrovich

Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, Professor at Department of Physics of Nonequilibrium Processes, Metrology and Ecology named after I.L. Povkh of Donetsk National University, DPR, Donetsk.

Золотарёва Ирина Александровна

аспирантка кафедры физики неравновесных процессов, метрологии и экологии им. И.Л. Повха; ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»,
ДНР, г. Донецк.
E-mail: artyomova_i@mail.ru

Zolotareva Irina Aleksandrovna

Postgraduate student at Department of Physics of Nonequilibrium Processes, Metrology and Ecology named after I.L. Povkh of Donetsk National University, DPR, Donetsk.

Ключко Никита Юрьевич

Заместитель коммерческого директора ООО «Альянс Решений»,
ДНР, г. Донецк.
E-mail: 11701711n@gmail.com

Kliuchko Nikita Iurevich

Deputy Commercial Director, Alliance of Solutions LLC, DPR, Donetsk.

55-ЛЕТИЮ КАФЕДРЫ РАДИОФИЗИКИ И ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Первый набор студентов на специальность «Радиофизика и электроника» состоялся в 1965 году — году основания Физического факультета Донецкого государственного университета. Специальность открыта на кафедре физики низких температур и радиофизических методов исследований, возглавляемой одним из основателей Физического факультета академиком Галкиным Александром Александровичем.



д-р физ.-мат. наук, профессор
Галкин Александр Александрович
04 июля 1914 – 22 октября 1982

Александр Александрович Галкин - выдающийся учёный, советский физик-экспериментатор, результаты фундаментальных исследований которого повлияли на развитие целого ряда разделов физики: сверхпроводимости, электронных свойств металлов, радиоспектроскопии, магнетизма, прочности и пластичности.

Галкин А.А. - доктор физико-математических наук (с 1955 г.), профессор (с 1956 г.), член-корреспондент АН УССР (с 1961 г.), академик АН УССР (с 1965 г.), основатель и директор Донецкого физико-технического института АН УССР (1965-1982 гг.), дважды лауреат Государственной премии УССР в области науки и техники (1971 г., 1982 г.), лауреат премии им. К.Д. Синельникова АН УССР (1975 г.), заслуженный деятель науки и техники УССР (с 1978 г.), участник Великой Отечественной войны (1941-1945 гг.).

Родился в г. Бердянске. В 1939 г. окончил Харьковский государственный университет. С 1937 по 1941 гг. работал в Харьковском физико-техническом институте АН УССР старшим лаборантом и младшим научным сотрудником. Участвовал в Великой Отечественной войне: курсант Артиллерийской академии РККА имени Ф.Э. Дзержинского (1941 г.), начальник артмастерских войска Западного фронта ПВО (1942 г.), начальник артснабжения войск Западного фронта ПВО (1943 г.). С 1945 по 1960 гг. работал в Харьковском физико-техническом институте АН УССР старшим научным сотрудником.

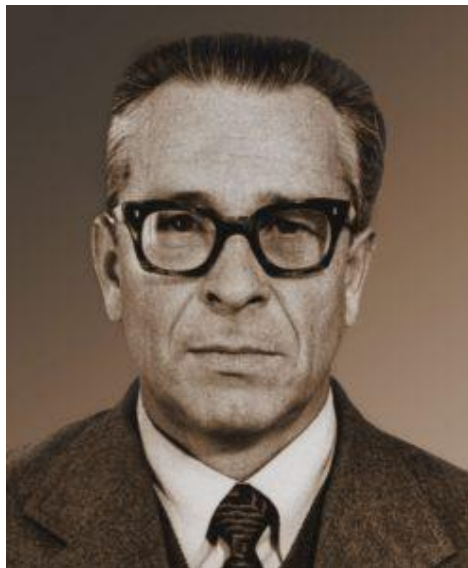
А.А. Галкин был талантливым организатором физической науки в УССР. Он участвовал в создании и развитии мощных институтов страны - Института радиоэлектроники АН УССР, Физико-технического института низких температур АН УССР. В 1960-1965 гг. занимал должность заместителя директора Физико-технического института низких температур АН УССР (г. Харьков). В 1965 г. под руководством А.А. Галкина создается Донецкий физико-технический институт АН УССР, который он возглавлял с 1965 по 1982 гг. и чье имя институт носит и сейчас.

Галкин был одним из основателей и первым председателем Донецкого научного центра АН УССР, им основана научная школа физики высоких давлений и спектроскопии твердого тела. По его инициативе ведущие ученые Донецкого физико-технического института начали преподавать на физическом факультете Донецкого государственного университета и готовить новые кадры для института.

Сам А.А. Галкин, обладая блестящим педагогическим талантом, был профессором, заведующим кафедрой физики низких температур и радиофизических методов исследований университета. Более 50 его учеников защитили кандидатские, более 15 - докторские диссертации. А.А. Галкин является автором свыше 300 научных работ, 2 монографий, 43 изобретений.

С 1994 года Донецкий физико-технический институт носит имя своего первого директора - академика А.А. Галкина.

В 1968 году по инициативе директора Донецкого физико-технического института АН УССР, академика Галкина Александра Александровича и декана Физического факультета, доцента Ковтуна Николая Моисеевича на базе кафедры ФНТиРМИ создается кафедра электрорадиотехники и радиоспектроскопии, которая является преемником кафедры ФНТиРМИ в области радиоспектроскопии, физики магнитных явлений, разработки радиофизических методов исследований материалов, разработки электронных устройств сверхвысокочастотного диапазона и практического применения СВЧ-энергии.



д-р физ.-мат. наук, профессор
Ковтун Николай Моисеевич
12 июля 1932 – 26 декабря 2001

Ковтун Николай Моисеевич – выдающийся учёный в области сверхтонких взаимодействий, магнитных свойств фазовых переходов в магнитных веществах. Родился в с. Беленькое Борисовского района Белгородской области. В 1955 г. окончил физико-математический факультет Харьковского государственного университета, после чего учился в аспирантуре и до 1965 г. работал преподавателем университета. В 1961 г. защитил кандидатскую диссертацию. С января по июнь 1965 г. занимал должность старшего научного сотрудника Физико-технического института низких температур АН УССР (г. Харьков). С 1965 по 1967 гг. работал в Донецком физико-техническом институте АН УССР старшим научным сотрудником.

С 1967 г. по 1969 г. работал в Донецком государственном университете в должности декана Физического факультета, а с 1968 г. одновременно заведующим кафедрой электрорадиотехники и радиоспектроскопии.

С 1969 по 1992 гг. работал в Донецком физико-техническом институте АН УССР в должностях: заместителя директора по научной работе (1974-1978 гг.),

заведующего отделом резонансных явлений в магнитных полупроводниках и диэлектриках (1978-1983 гг.), директора института (1982-1986 гг.). В 1975 г. защитил докторскую диссертацию по специальности «Физика магнитных явлений», в 1978 г. Ковтуну Н.М. присвоено учёное звание профессора. С 1990 г. по 2001 г. работал профессором кафедры радиофизики Донецкого государственного университета.

Основные направления научных исследований Ковтуна Н.М. были сосредоточены в области физики магнитных явлений. Николай Моисеевич Ковтун развивал работы по изучению магнитных свойств ферромагнитных и антиферромагнитных кристаллов, проводил экспериментальные и теоретические исследования спин-переориентационных фазовых переходов методом ЯМР в различных магнитных материалах, проводил ЯМР-исследования анизотропии сверхтонких взаимодействий в ортоферритах.

Ковтун Николай Моисеевич – автор свыше 120 научных публикаций, под его руководством защищены 14 кандидатских диссертаций.

Ответственность за подготовку студентов по специальности «Радиофизика и электроника» ректоратом Донецкого государственного университета была возложена на вновь созданную кафедру ЭРТиРС, которую и возглавил Ковтун Н.М. Большое значение в становлении и формировании кафедры имела группа молодых учёных-доцентов: Шульга Владимир Гаврилович, Степко Михаил Филимонович (декан Физического факультета в 1983-1986 гг.), Бондаренко Борис Николаевич, Шаворыкин Юрий Васильевич.



Студенты-радиофизики в лаборатории
Физического факультета

С 1969 года по 1974 год кафедрой ЭРТиРС заведовал доцент Шульга Владимир Гаврилович. Основным направлением научной и научно-педагогической деятельности кафедры была физика явлений сверхвысокочастотного диапазона, ориентированная на создание электровакуумных и твердотельных приборов и устройств СВЧ.



д-р физ.-мат. наук, профессор
Шульга Владимир Гаврилович
30 марта 1935 – 4 января 2003

Шульга Владимир Гаврилович – учёный в области теоретической и практической радиофизики и радиоэлектроники.

Родился в с. Деменки Харьковской области. В 1958 г. окончил Киевский политехнический институт по специальности «Радиотехника». С 1958 г. по 1960 г. работал инженером. С 1960 г. по 1963 г. обучался в аспирантуре радиотехнического факультета Киевского политехнического института. В 1964 г. защитил кандидатскую диссертацию и получил диплом кандидата технических наук.

В 1964-1969 гг. работал в Харьковском институте радиоэлектроники в должностях: ассистент (1964 г.), старший преподаватель (1965 г.), доцентом кафедры физики СВЧ (до 1969 г.).

С 1969 г. по 1977 г. работал в Донецком государственном университете в должности декана Физического факультета (1961-1971 гг.), заведующего кафедрой электрорадиотехники и радиоспектроскопии (1969-1974 гг.), доцента этой же кафедры (1971-1977 гг.).

В 1975 г. защитил докторскую диссертацию по специальности «Физическая электроника».

В 1977 г. назначен на должность ректора (1977-1980 гг.) и заведующего кафедрой оптики (1978-1984 гг.) Ужгородского государственного университета.

В 1980 г. Шульге В.Г. присвоено почетное звание Лауреата премии Совета Министров СССР по науке и технике.

В 1984 г. переехал в Киев, где работал доцентом и профессором кафедры акустики и акустоэлектроники Киевского политехнического института. С 1998 года работал старшим научным сотрудником Института электродинамики НАНУ.

Шульга Владимир Гаврилович – автор около 100 авторских свидетельств и патентов, более 130 научных работ в области теоретической и практической радиофизики, а также 12 научно-методических и 2 учебных пособий по теории электрических цепей. Под его руководством подготовлено 2 доктора наук и более 10 кандидатов наук.

В 1973 году на базе кафедры электрорадиотехники и радиоспектроскопии создается кафедра технических средств систем управления, на которую возлагается ответственность за подготовку студентов-радиофизиков со специализацией «Технические средства систем управления». В 1979 кафедра ТССУ переименовывается в кафедру кибернетики и вычислительной техники, а в 1991 – в кафедру компьютерных технологий и ее возглавляет (с 1991 по 2014 гг.) выпускник-радиофизик Каргин Анатолий Алексеевич (декан Физического факультета в 2006-2014 гг.), но это уже совершенно другая история.

С приходом на кафедру ЭРТиРС доцента Шепилова Николая Александровича (заведующий кафедрой с 1974 г. по 1989 г.) деятельность кафедры, в том числе научная и учебная, дополняется и ориентируется исследованиями в области физических свойств перспективных для радиоэлектронной промышленности материалов (ферритов) в СВЧ диапазоне.



канд физ.-мат. наук, доцент
Шепилов Николай Александрович
14 декабря 1944 – 2002

Шепилов Николай Александрович – учёный физик.
Родился в г. Днепропетровске. В 1968 г. окончил кафедру электрофизики Днепропетровского государственного университета.

С 1968 г. начал работать в Донецком государственном университете. С 1968 г. по 1972 г. работал заведующим учебной лабораторией и ассистентом кафедры физики низких температур.

В 1973 г. защитил кандидатскую диссертацию по специальности «Физика конденсированного состояния» и начал работать доцентом кафедры физики низких температур.

С 1974 по 1989 гг. работал заведующим кафедрой электрорадиотехники и радиоспектроскопии, будучи одновременно деканом физического факультета с 1975 по 1983 гг. Далее до 2002 года работал доцентом кафедры радиофизики.

Научные интересы Шепилова Николая Александровича связаны с физикой магнитных явлений и радиоспектроскопией. Шепилов Н.А. опубликовал более 60 научных работ, под его руководством защищена 1 кандидатская диссертация.

В 1989 году, в связи с сокращением потребности СССР в специалистах - радиофизиках, специальность «Радиофизика и электроника», была закрыта, однако кафедра электрорадиотехники и радиоспектроскопии сохранилась, осуществляя базовую подготовку физиков.

В 1991 году кафедра электрорадиотехники и радиоспектроскопии была переименована в кафедру радиофизики, что стало следствием повторного открытия специальности «Радиофизика и электроника» на Физическом факультете ДонГУ.

Инициатором открытия специальности являлся Ученый совет Физического факультета, реализовал инициативу – доцент Пицюга Владимир Григорьевич, который и возглавлял кафедру в 1991-1998 гг.



канд физ.-мат. наук, доцент
Пицюга Владимир Григорьевич

Пицюга Владимир Григорьевич – учёный в области радиофизики и электроники.

Окончил радиофизический факультет Харьковского государственного университета по специальности «Радиофизика и электроника». Работал в Харьковском государственном университете, Харьковском институте низких температур, Донецком физико-техническом институте. В 1969 г. защитил кандидатскую диссертацию и получил диплом кандидата физико-математических наук, затем - ученое звание доцента. С 1991 по 1998 гг. и с 2000 по 2004 гг. работал заведующим кафедрой радиофизики. Далее до 2014 г работал доцентом этой же кафедры.

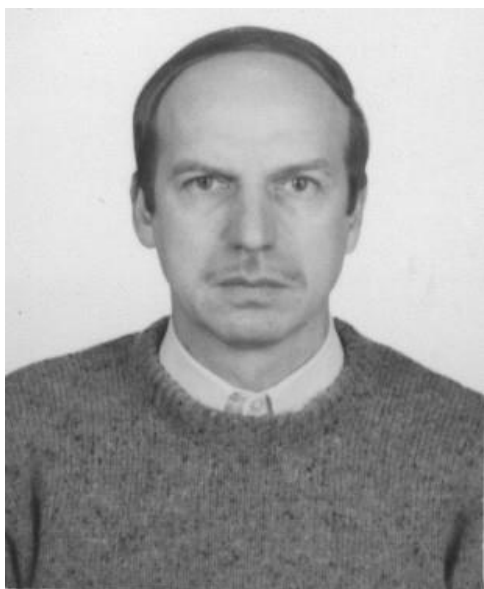
Пицюга В.Г. – автор более 200 научных работ, тематика которых связана с явлением ядерного магнитного резонанса.

Под его руководством кафедра радиофизики в рамках нескольких международных проектов осуществляет исследования магнитных свойств высокотемпературных сверхпроводников, в том числе в международном проекте 715 «Гидроструйная резка на атомных электростанциях» совместно с учёными США, Канады и Великобритании.

Открытие специальности мотивировалось структурной перестройкой промышленности Донбасса и развитием наукоемких технологий. К тому времени в Донецке работали Научно-исследовательский институт комплексной автоматизации (НИИКА), Донецкий физико-технический институт (ДонФТИ), два завода радиоэлектронного профиля («Топаз» и «Скиф»), два конструкторских бюро («Гранит» и «Специальные радиосистемы»). При этом основные центры подготовки специалистов по радиофизике и электронике находились в Харькове и Днепропетровске, а экономическая ситуация не способствовала притоку таких специалистов в Донбасс с его 5,5 миллионным населением.

В 90-е годы на кафедре радиофизики разрабатываются пакеты прикладных программ по спецкурсам, которые внедрены в учебный план по заказу предприятия «Топаз» и Научно-исследовательского института комплексной автоматизации. Сотрудниками кафедры был разработан и запущен в производство специальный усилитель СВЧ-диапазона, было получено 26 авторских свидетельств на изобретение, издана монография, защищено две кандидатские и три докторские диссертации. Кафедра сотрудничает с университетами Харькова, Днепропетровска, Ужгорода, Киева, Симферополя, а также с ранее перечисленными НИИ и предприятиями Донбасса. В НИИКА открывается филиал кафедры. В целом, кафедра успешно развивается, в чем большая заслуга сотрудников филиала-выпускников кафедры профессора Левченко Георгия Георгиевича, доцента Данилова Владимира Васильевича, доцента Цитрина Анатолия Григорьевича, доцента Зубко Леонида Дмитриевича.

С 1999 по 2000 гг. кафедрой руководил доцент Заблоцкий Виталий Арсенович, который ориентировал научное направление кафедры на физику сверхпроводников. Однако, полностью это реализовать не удалось из-за кратковременности его пребывания на посту заведующего (уехал работать за границу).



д-р физ.-мат. наук, профессор
Заблоцкий Виталий Арсенович

Заблоцкий Виталий Арсенович – учёный в области физики магнетизма и полупроводимости.

Родился 16 мая 1955 г. в г. Донецке. В 1977 г. окончил Физический факультет Донецкого государственного университета. С 1977 по 1979 гг. проходил службу в вооруженных силах СССР. С 1979 года начал работать ассистентом в Донецком государственном университете. В 1989 г. окончил аспирантуру ДонГУ и защитил кандидатскую диссертацию по специальности «Физика конденсированного состояния». В 1996 г. защитил докторскую диссертацию по специальности «Физика магнитных явлений» и получил диплом доктора физико-математических наук. В 1998 г. получил ученое звание доцента.

С 1999 по 2000 гг. работал заведующим кафедрой и профессором кафедры радиофизики.

В настоящее время работает в отделе биофизики Института физики Академии наук Чешской Республики.

Заблоцкий В.А. – автор более 100 научных работ, из которых более 60 в зарубежных изданиях, имеет несколько авторских свидетельств, награжден нагрудным знаком «Изобретатель СССР».

Создавшаяся производственная необходимость явилась причиной того, что ректорат ДонНУ назначил руководить кафедрой доцента Пицюгу Владимира Григорьевича, который снова возглавлял кафедру с 2000 по 2004 гг.

С 2004 г. и по настоящее время кафедрой радиофизики руководит выпускник кафедры 1975 года, доктор технических наук, профессор Данилов Владимир Васильевич.



д-р техн. наук, профессор
Данилов Владимир Васильевич

Данилов Владимир Васильевич – учёный в области средств оптоэлектронных информационных технологий и оптической обработки информации.

Родился 02 июля 1948 г. в г. Ясиноватая. В 1975 г. окончил Физический факультет Донецкого государственного университета по специальности «Радиофизика и электроника». С 1976 по 1979 гг. работал заведующим учебной лабораторией кафедры электрорадиотехники и радиоспектроскопии.

В 1982 г. окончил аспирантуру Ужгородского государственного университета и защитил кандидатскую диссертацию.

С 1983 г. возвращается в Донецкий государственный университет и работает в должностях: младший научный сотрудник, старший научный сотрудник, ассистент, доцент.

Совмещая работу на кафедре с 1987 по 1999 гг. работает в Научно-исследовательском институте комплексной автоматизации в должностях: ведущий инженер, старший научный сотрудник, начальник сектора и отдела, ведущий научный сотрудник. Научно-прикладная деятельность в НИИКА связана с созданием оптоэлектронных приборов специального назначения и оптоволоконных медицинских систем.

В 2004 году защищает докторскую диссертацию по специальности 05.13.05 – Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления (технические науки). Диссертация и дальнейшие исследования направлены на решение проблемы повышения быстродействия вычислительных средств за счет перехода на оптоэлектронную элементную базу.

С 2004 г. и по настоящее время работает заведующим кафедрой радиофизики и профессором этой же кафедры. С 2015 по 2016 гг. работал деканом Физико-технического факультета ДонНУ. С 2017 по 2018 гг. работал проректором по научной и инновационной деятельности ДонНУ.

Данилов В.В. – автор более 100 научных работ и 4 авторских свидетельств. Под его руководством защитили 1 докторскую и 3 кандидатских диссертации. В настоящее время является членом экспертного совета по техническим наукам ВАК при МОН ДНР, заместителем председателя совета по защите диссертаций на соискание ученой степени доктора/кандидата наук Д 01.024.04, главным редактором журнала «Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки».

Под руководством заведующего кафедрой радиофизики д-ра технических наук, профессора Данилова В.В. основным научным направлением кафедры являются исследования в области физических явлений потенциально пригодных для создания принципиально новых элементов и устройств радиотехники, вычислительной техники и информационных технологий. Большой вклад в этой области сделан доцентами Рудяковой Анной Николаевной и Липинским Александром Юрьевичем.

В 2011 году в связи с увеличивающейся потребностью в разработке организационно-правового, технического и программно-аппаратного обеспечения для защиты информации при ее обработке, хранении и передаче, и благодаря совместным усилиям д-ра техн. наук, профессора Белоусова Вячеслава Владимировича, д-ра техн. наук, профессора, декана Физического факультета Каргина Анатолия Алексеевича и д-ра техн. наук, профессора, заведующего кафедрой радиофизики Данилова Владимира Васильевича на кафедре радиофизики была открыта новая специальность «Безопасность информационно-коммуникационных систем». В этом же году Физический факультет в связи с открытием нескольких новых специальностей становится Физико-техническим.

В эти же годы на кафедре радиофизики так же ведутся работы по разработке и исследованию высокоэффективных высокочастотных и сверхвысокочастотных транзисторных усилителей мощности классов Е и F. В состав научной группы, осуществляющих такую деятельность входили: д-р техн. наук, профессор Крыжановский Владимир Григорьевич, канд. техн. наук Чернов Дмитрий Викторович, канд. физ.-мат. наук Рассохина Юлия Валентиновна, Макаров Денис Григорьевич.

Однако, с началом гражданской войны в Донбассе в 2014 г. вышеуказанная группа и еще несколько сотрудников кафедры покидают родной университет и переходят в так называемый «Донецкий национальный университет» в г. Виннице.

Для кафедры настает не простое время, но все же её удастся сохранить. В этом неоценимый вклад сотрудников, оставшихся на кафедре (заведующий кафедрой, профессор Данилов Владимир Васильевич, старшие преподаватели Деркаченко Елена Васильевна, Белик Татьяна Владимировна, Долбещенков Вячеслав Васильевич, заведующий учебной лабораторией Стародубцев Юрий Александрович), приступивших к работе выпускников Физического факультета (профессор Малашенко Вадим Викторович, доценты Тимченко Владимир Иванович, Худяков Игорь Иванович, старшие преподаватели Кожекина Елена Николаевна, Бабичева Маргарита Вадимовна, старший лаборант Миронова Людмила Владимировна), а также выпускников кафедры радиофизики последних лет, которые продолжают работать на кафедре и сегодня (ассистент Долбещенкова Наталья Вячеславовна, лаборанты Третьяков Игорь Александрович, Джанджгава Карина Геннадьевна, Яновский Александр Вадимович).

В 2015 году постепенно начинается процесс интеграции в Российское образовательное пространство и перехода на Российские образовательные стандарты, вследствие чего специальность «Безопасность информационно-коммуникационных систем» переименована в «Информационная безопасность», по которой в этом же году осуществлен первый выпуск бакалавров. Таким образом, кафедра осуществляет обучение студентов по двум направлениям подготовки «Радиофизика» и «Информационная безопасность».

Благодаря сотрудничеству Донецкого национального университета с ведущими вузами Российской Федерации начинает работать программа двойных дипломов, которая позволяет выпускникам получать дипломы Российских вузов, помимо дипломов ДонНУ. Таким образом, в 2015 г. 16 бакалавров по направлению подготовки «Информационная безопасность» защитили выпускные квалификационные работы и получили дипломы Российской Федерации в Донском государственном техническом университете, а 15 специалистов и 6 бакалавров по направлению подготовки «Радиофизика» - в Южном Федеральном университете.



Выпускники-безопасники кафедры в ДГТУ



Выпускники-радиофизики кафедры в ЮФУ

Многолетний опыт показывает, что выпускники кафедры радиофизики хорошо зарекомендовали себя, востребованы на рынке труда и сегодня успешно работают в различных отраслях науки и промышленности. Выдающимися выпускниками кафедры являются: Литвиненко Валентин Иванович - директор Научно-исследовательского института комплексной автоматизации; Левченко Георгий Георгиевич – член-корреспондент НАНУ, д-р физ.-мат. наук, лауреат премии им. Л.В. Шубникова; Дружинин Геннадий Михайлович - директор Донецкого научно-исследовательского института судебной экспертизы; Цирельсон Владимир Григорьевич – заведующий кафедрой квантовой химии РХТУ, д-р физ.-мат. наук, лауреат премии им. Гумбольдта; Данилов Владимир Васильевич – заведующий кафедрой радиофизики, д-р техн. наук, профессор, член экспертного совета ВАК. На кафедре работает старший преподаватель Деркаченко Елена Васильевна – выпускник кафедры 1970 года (1-ый выпуск ДонГУ). Так же выпускник кафедры Безус Алексей Викторович сегодня является заведующим кафедрой общей физики и дидактики физики ДонНУ.

Приказом ректора ДонНУ Беспаловой Светланы Владимировны №155/05 от 31.08.2016 г. по инициативе декана Физико-технического факультета, заведующего кафедрой радиофизики Данилова Владимира Васильевича, в связи с тенденциями развития технологий и появлением новых направлений научной деятельности кафедра радиофизики переименована в кафедру радиофизики и инфокоммуникационных технологий.

За последние 5 лет сотрудниками кафедры проведены научные исследования и получены результаты в области разработки высокоэффективных передатчиков телекоммуникационной аппаратуры и высокоэффективных транзисторных усилителей мощности, моделирования защищенных инфокоммуникационных систем, диагностики и контроля структуры конструкционных материалов, взаимодействия упругих волн с нарушениями среды распространения, автоматизации процессов научных исследований. Исследования ведутся как в рамках госбюджетных, так и инициативных НИР кафедры. К исследованиям активно привлекаются аспиранты кафедры, обучающиеся по специальностям «Радиофизика» и «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами», а также магистранты и студенты. Подготовлено и опубликовано более 100 научных статей в изданиях, которые индексируются в международных наукометрических базах данных (Scopus, Web of Science, РИНЦ, Index Copernicus, ADS, CAS, Ulrich, Springer и др.), более 100 статей и тезисов докладов в материалах республиканских и международных научных конференций. В том числе в соавторстве со студентами опубликовано около 50 научных статей и 25 тезисов докладов в материалах конференций.

В 2019-2020 гг. коллективом кафедры проделан колоссальный труд по подготовке магистерских программ для прохождения государственной аккредитации в Федеральной службе по надзору в сфере образования и науки, что позволило получать дипломы Российской Федерации в Донецком национальном университете.

В 2020 году кафедра РФ и ИКТ отметила свое 55-летие. Вопреки существующим сегодня сложностям и проблемам, имеются веские основания утверждать, что к очередному юбилею коллектив кафедры подошел во всеоружии накопленного опыта и полным амбиций: наблюдается приток молодых и талантливых кадров, рождаются и реализуются новые идеи, готовятся и защищаются кандидатские диссертации.

Зав. учебной лабораторией кафедры РФ и ИКТ

Третьяков И.А.

55-ЛЕТИЮ КАФЕДРЫ ФИЗИКИ НЕРАВНОВЕСНЫХ ПРОЦЕССОВ, МЕТРОЛОГИИ И ЭКОЛОГИИ ИМЕНИ ИВАНА ЛУКИЧА ПОВХА



Ровесница факультета, кафедра «Физики неравновесных процессов, метрологии и экологии имени И.Л. Повха» (до 1997 года кафедра физической гидродинамики) была организована в августе 1965 года. Основатель и первый заведующий кафедрой - член-корреспондент АН УССР, профессор, доктор технических наук, Заслуженный деятель науки и техники Украины Иван Лукич Повх.

Образование, ученые степени и звания Иван Лукич получил в Ленинградском политехническом институте, в котором после окончания физико-механического факультета трудился около 25 лет.

В 1961 году И.Л. Повх возвращается в Донбасс – места своего детства и молодости, работает в Институте горного дела АН УССР и Донецком научно-исследовательском институте черных металлов, совмещая это с сентября 1962 года с должностью профессора Донецкого государственного педагогического института. Будучи в то время единственным профессором пединститута, Иван Лукич вложил много энергии в превращение его в первый в Донбассе государственный университет.

Кафедра начала осуществлять подготовку специалистов в области физической гидродинамики, крайне необходимых для промышленности Донбасса.

В состав преподавательского коллектива кафедры вошли: к.т.н., доц. Иодко Э.А. и пятеро молодых преподавателей – Болонов Н.И., Ступин А.Б., Завгородний П.Ф., Атанов Г.А., Торяник А.И. Все они в течении последующих 5-10 лет стали докторами наук, профессорами.



Преподавательский коллектив кафедры в 1969 г.

Позже, в преподавательский коллектив влились к.т.н. Максютенко С.Н., д.т.н. Кавун Ю.М., к.т.н. Быковская Н.В., к.т.н. Бескровная М.В., старшие преподаватели Удовиченко А.Ф., Моцак Т.А. и выпускники кафедры – д.т.н. Недопекин Ф.В., д.т.н. Белоусов В.В., д.т.н. Симоненко А.П., к.ф.-м.н. Финошин Н.В., к.т.н. Колесник В.И., к.т.н. Корнев А.Л., к.ф.-м.н. Асланов П.В., к.т.н. Прохоренко С.Ф., к.т.н. Барыбин А.И., старшие преподаватели Собко А.Ю., Фоменко С.А., Бондаренко В.И., Бодряга В.В., Бодня А.С., Лебедев В.Н., Пометун Е.Д., Золотарёва И.А., Березина Е.А., Попова А.Е., Несова А.В. и др.

С 1987 г. по 2013 г. руководил кафедрой профессор, доктор технических наук, проректор по научной работе, академик Украинской экологической академии наук и Академии наук высшей школы Украины, заслуженный деятель науки и техники Украины, Лауреат Государственной премии по науке и технике Александр Борисович Ступин.



Коллектив кафедры в 2012 г.

В 2013 году кафедру возглавил известный ученый, выпускник кафедры, доктор технических наук, профессор, Лауреат Государственной премии по науке и технике Украины Вячеслав Владимирович Белоусов, а с июня 2020 г. выпускник кафедры, доктор технических наук, профессор, Лауреат Государственной премии по науке и технике Украины Фёдор Викторович Недопёкин.

Фундаментальной основой создания кафедры являлись громадный опыт в организации учебного процесса и научных исследований Ивана Лукича как профессора Ленинградского политехнического института и в последствии профессора Донецкого государственного пединститута, а также

научная школа специалистов по физической гидродинамике, созданная на базе Института горного дела АН УССР и Донецкого института черных металлов (доктора наук Коловандин Б.А., Капуста А.Б. и др.).

Таким образом на кафедре сформировалась научная школа по механике жидкости и газа под руководством И.Л. Повха, результатами работы которой явилось создание при кафедре проблемной лаборатории «Физических методов исследования турбулентности» в 1974 г. и специального конструкторско-технологического бюро «Турбулентность» в 1980 г. В 1997 -2013 г.г. кафедра являлась базовой для общеуниверситетской кафедры ЮНЕСКО «Экология техногенного региона» и Ассоциированного Центра ЮНЕСКО по микронаучному эксперименту. С 1992 года был открыт филиал кафедры в Научно-производственном центре «Донецкстандартметрология».

На базе кафедры физической гидродинамики, проблемной лаборатории и СКТБ «Турбулентность» было создано учебно-научно-производственное объединение «Турбулентность». В созданном структурном подразделении проводились работы по различным научным направлениям.

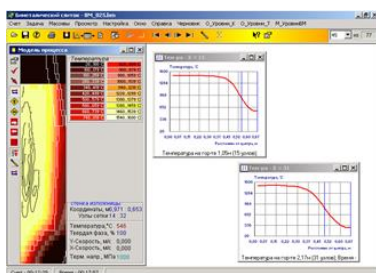
Первое – разработка методов измерения турбулентных характеристик потоков (термоанемометрических, магнитных, ультразвуковых, лазерных), конечной целью которых явилось создание автоматизированного измерительного комплекса «Турбулентность».



Один из таких комплексов с успехом работал на Арктических научно-исследовательских дрейфующих станциях «СП-26» и «СП-30».



Второе – разработка и исследование методов снижения гидродинамического сопротивления жидкостей с помощью добавок полимеров и поверхностно-активных веществ (ПАВ), имеющих важное народно-хозяйственное значение. Метод снижения сопротивления добавками ПАВ был успешно апробирован и внедрен на холодильной установке шахты им. газеты «Социалистический Донбасс».



Третье — исследование гидродинамических и тепломассообменных процессов в металлургии методами математического моделирования, а также по повышению химической однородности затвердевающих расплавов за счет управления гидродинамикой жидкого ядра. Результаты этих исследований являлись важными для металлургической промышленности Донбасса.

Четвертое — исследование турбулентных стратифицированных течений. Эти работы позволяли понять сущность турбулентных процессов, происходящих в Мировом океане.



Пятое — исследование импульсных и волновых процессов в гидродинамике, которые также имели важное прикладное значение (гидроструйная резка и разрушение в техногенно-опасных условиях).

Большинство научных исследований имело двойное назначение: народно - хозяйственное и оборонное. Для нужд Военно-морского флота Советского Союза были разработаны и исследованы гидродинамически-активные полимерные композиции для увеличения скоростей движения (форсаж) атомных подводных лодок и торпед, разработана и изготовлена аппаратура для измерения турбулентных характеристик в гидродинамических следах кораблей с целью определения их местонахождения. Указанные разработки получили высокую оценку главных разработчиков военно-морской техники для ВМФ.



Широкое международное признание имеют полученные на кафедре решения проблем снижения гидродинамического сопротивления в турбулентных потоках (д.т.н. Ступин А.Б., д.ф.-м.н. Торяник А.И., к.ф.-м.н. Фиошин Н.В., д.т.н. Симоненко В.П., к.ф.-м.н. Асланов П.В., к.т.н. Корнев А.Л., к.т.н. Ларин С.Л., к.т.н. Быковская Н.В., д.т.н. Погребняк В.Г., к.ф.-м.н. Макогон Б.П., к.т.н. Наумчук Н.В., д.т.н. Никулин В.А.); турбулентного обмена в стратифицированных и многофазных течениях (д.т.н. Болонов Н.И., к.т.н. Лобачев В.Г., к.т.н. Барыбин А.И.); проблем импульсных и волновых процессов в гидродинамике (д.т.н. Атанов Г.А., д.т.н. Семко А.Н., к.т.н. Украинский Ю.Д.); проблем гидродинамики и тепломассопереноса в металлургических технологиях (к.т.н. Иодко Э.А., д.т.н. Завгородний П.Ф., к.т.н. Севостьянов Г.М., д.т.н. Недопекин Ф.В., д.т.н. Белоусов В.В., к.т.н. Гридин С.В., к.т.н. Редько Г.А., к.т.н. Бондаренко В.И.); разработка первичных преобразователей, информационно-измерительных и управляющих систем для изучения турбулентных потоков (к.т.н. Украинский Ю.Д., к.т.н. Силенко Е.М., к.т.н. Чеплюков В.Г., к.т.н. Лобачёв В.Г., к.т.н. Савостенко П.И., к.т.н. Романчук С.М., Славный А.Г., Надтока А.И., Кишкань Р.В., Шкредов В.М., Лесниченко А.Н. и др.).

О масштабе и значимости научных исследований, которые проводились на кафедре, можно судить по таким данным. Так к концу 1990 года над проблемой работали 450 чел., среди них - 5 докторов и 26 кандидатов наук. Объем выполняемых НИР составлял 4,5 млн. руб. (что являлось надежным источником для обеспечения всего учебного и научного процесса), 90% работ выполнялось по решениям директивных органов.



И.Л. Повх придавал огромное значение научным контактам ученых различных школ, много сил и внимания уделял организации и проведению научных форумов. По инициативе И.Л. Повха в Донбассе проведены Всесоюзная конференция по проблемам турбулентности (1977 г.), Всесоюзное совещание по использованию достижений аэрогидродинамики в технологических процессах (1978 г.), Всесоюзный семинар по снижению турбулентного трения добавками (1978 г.) и III-я Всесоюзная конференция по проблемам турбулентных течений (1986 г.).

В 2009 г. начал работу Международный научный семинар «Повховские научные чтения».

В 1992-2000 годах кафедра существенным образом расширила профиль подготовки специалистов (бакалавров, специалистов и магистров) по трем направлениям подготовки: «Физика неравновесных процессов» (в настоящее время «Техническая физика»); «Метрология и измерительная техника» (в настоящее время «Стандартизация и метрология»); «Компьютерный эколого-экономический мониторинг» (в настоящее время «Техносферная безопасность»). За 55 лет существования кафедры защитили дипломы по трем специальностям свыше 1000 бакалавров, специалистов и магистров.

Кафедра имеет аспирантуру и докторантуру по специальностям «Экологическая безопасность» (в настоящее время «Экология») и «Механика жидкости и газа». В 2004-2013 годах на базе кафедры работал специализированный ученый Совет СРД 11.051.09 с правом защиты докторских и кандидатских диссертаций по специальности 21.06.01 «Экологическая безопасность». В настоящее время начал работу специализированный ученый Совет Д 01.016.03 с правом защиты докторских и кандидатских диссертаций по специальности 05.14.04 «Промышленная теплоэнергетика». В 2015-2020 г.г. четыре преподавателя кафедры являлись членами специализированных советов по защите докторских и кандидатских диссертаций («Экология городского хозяйства», «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ») - профессора Белоусов В.В., Болонов Н.И., Недопекин Ф.В., Симоненко А.П.

За время существования кафедры подготовлено: 18 докторов (из них 3 Лауреата государственной премии Украины в области науки и техники - проф. Ступин А.Б. (2007 год), проф. Белоусов В.В. и проф. Недопекин Ф.В. (2013 год) и 2 заслуженных профессора ДонНУ - проф. Ступин А.Б. и проф. Недопекин Ф.В.), 60 кандидатов наук, издано 35 монографий, 9 учебников, 300 учебных пособий, опубликовано свыше 2000 научных работ (статей, тезисов докладов), получено более 100 патентов и авторских свидетельств на изобретения и авторское право.

Коллектив кафедры физики неравновесных процессов,
метрологии и экологии имени Ивана Лукича Повха

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

1. Для публикации в журнале «Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки» принимаются ранее не опубликованные и не представленные для одновременной публикации в других изданиях научные работы, содержащие новые результаты теоретических и экспериментальных исследований в области технических наук. Авторы научных статей несут персональную ответственность за наличие элементов плагиата в текстах статей, за полноту и достоверность изложенных фактов и положений, за сам факт их публикации. Решение о публикации принимается редакционной коллегией журнала после рецензирования, учитывая научную значимость и актуальность представленных материалов. Если рецензия положительна, но содержит замечания и пожелания, редакция направляет статьи авторам на доработку вместе с замечаниями рецензента. Автор должен ответить рецензенту по всем пунктам рецензии. После такой доработки редколлегия принимает решение о публикации статьи. В случае отклонения статьи редакция направляет авторам рецензии или выдержки из них, либо аргументированное письмо редактора. Редколлегия не вступает в дискуссию с авторами отклоненных статей, за исключением случаев явного недоразумения. В случае отказа в публикации статей редколлегия не возвращает автору рукопись статьи. Статья, задержанная на срок более трех месяцев или требующая повторной переработки, рассматривается как вновь поступившая. Гонорар авторам не выплачивается и плата за публикацию статей не взимается. Допускается публикация не более двух статей одного автора в одном номере журнала.

2. Рукопись предоставляется в одном экземпляре (на русском или английском языках), 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 редакционным требованиям или тематике журнала, к рассмотрению не принимаются. Редакция оставляет за собой право проводить редакционную правку статей. Корректурa статей авторам не высылается.

3. 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, таблицы, подрисуночные подписи, список литературы, сведения об авторах:** шрифт Times New Roman, размер 10 пт., с выравниванием по ширине, без автоматической расстановки переносов.

4. 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. Аннотацию и ключевые слова рекомендуется отделять 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 приводится нумерованный перечень используемых литературных источников общим списком в порядке упоминания в тексте на языке оригинала в соответствии с ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание» и ГОСТ 7.05-2008 «Библиографическая ссылка». 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 *хх.хх.20хх 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 и звание, должность, с указанием организации (полное название, в именительном падеже), которую представляет автор;
 - страна, город;
 - адрес электронной почты.

5. Образец оформления статьи:

УДК 004.62

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ЛИНГВИСТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ УЧАСТКОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ КРИВЫХ

© 2020 Третьяков И.А., Данилов В.В.

В настоящей работе произведена реализация и исследование вычислительных алгоритмов лингвистического описания экспериментальных кривых. Полученная в результате работы алгоритмов классификация находит значительную схожесть с реальной электрокардиограммой.

Ключевые слова: экспериментальные кривые, анализ данных, классификация, лингвистический анализ, python.

Введение. Экспериментальные кривые являются одним из...

Постановка задачи. На этапе сегментации исследуемую кривую разделяют...

Классификация участков экспериментальных кривых. Участки устойчивой формы, регулярно повторяющиеся в процессе события назовем ...

Выводы. Полученный в результате классификации алфавит...

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Третьяков И. А. Методы параллельной сегментации экспериментальных кривых / И. А. Третьяков // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. – 2018. – № 4. – С. 36-41.
2. Data from ECG recording in today's class URL <https://bioelectromagnetism.wordpress.com/2012/11/28/data-from-ecg-recording-in-todays-class/> (дата обращения: 01.09.2019).

Поступила в редакцию xx.xx.2020 г.

ANALYSIS OF ALGORITHMS FOR LINGUISTIC DESCRIPTION OF THE EXPERIMENTAL CURVE SITES

Tretiakov I.A., Danilov V.V.

In this paper, we have implemented and studied computational algorithms for the linguistic description of experimental curves. The classification obtained as a result of the work of the algorithms finds significant similarity with the real electrocardiogram.

Keywords: experimental curves, data analysis, classification, linguistic analysis, python.

Третьяков Игорь Александрович

заведующий учебной лабораторией кафедры радиофизики и инфокоммуникационных технологий ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»,
ДНР, г. Донецк.
E-mail: es75i@mail.ru

Tretiakov Igor Aleksandrovich

Head of laboratory at Department of Radiophysics and Infocommunication Technologies of Donetsk National University,
DPR, Donetsk.

Данилов Владимир Васильевич

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой радиофизики и инфокоммуникационных технологий ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»,
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,
DPR, Donetsk.

6. 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. Необходимо следить за тем, чтобы после возможного уменьшения до размера 80 мм высота букв и цифр на рисунке оставалась не менее 2 мм. Каждый рисунок должен иметь подрисуночную подпись (не совмещенную с рисунком) в формате: «Рис. №. Название». Каждая таблица должна иметь заглавие (выравнивание – по центру) 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. Сканированные рисунки не принимаются. Образец оформления рисунка и таблицы:

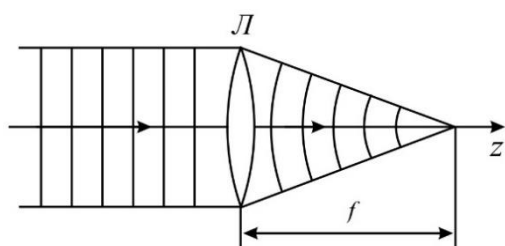


Рис. 1. Действие линзы на плоскую волну

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	39	кОм

7. Формулы выравниваются по центру и имеют, при необходимости, сквозную нумерацию по правому краю. Для выравнивания формул рекомендуется использовать таблицы с параметром «Нет границ». 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. Все числовые значения физических величин выражаются в системе СИ. В десятичных дробях целая часть должна отделяться от дробной запятой, а не точкой. Формулы, их компоненты и все переменные в тексте и отдельно в строках набираются только с помощью редактора формул Microsoft Equation 3.0 или MathType 5.0–6.0 с параметрами:

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

Образец оформления формулы:

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

8. Материалы предоставляются по адресу:

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

Главный редактор: Данилов Владимир Васильевич, каб. 203.

Зам. главного редактора: Симоненко Александр Петрович, каб 252.

Ответственный секретарь: Третьяков Игорь Александрович, каб 210.

Контактные тел.: +38 (062) 302 07 81, +38 (062) 302 92 88

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

Научное издание

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

– 2020. – № 4

Технический редактор: И.А. Третьяков

Адрес редакции:

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»,
283001, ДНР, г. Донецк, ул. Университетская, д. 24
Тел.: +38 (062) 302 07 81, +38 (062) 302 92 88

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

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

Подписано в печать 25.12.2020 г.
Формат 60×84/8. Бумага офсетная.
Печать – цифровая. Усл. печ. л. 11,04
Тираж 100 экз. Заказ. №

Издательство ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»
283001, ДНР, г. Донецк, ул. Университетская, д. 24.
Тел.: +38 (062) 302 92 27.

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