

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

Вестник Донецкого национального университета



НАУЧНЫЙ
ЖУРНАЛ

*Основан
в 1997 году*

Серия Г
Технические
науки

2/2020

Редакционная коллегия журнала

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

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

Зам. главного редактора – д-р техн. наук, проф. **В.В. Данилов**.

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

Члены редколлегии: д-р техн. наук, доц. **Н.И. Болонov**; 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, проф. **С.А. Зори**; д-р техн. наук, проф. **М.Н. Чепцов**; канд. техн. наук **Т.В. Шарий**; канд. техн. наук, доц. **С.В. Гридин**; д-р техн. наук, проф. **Ф.В. Недопекин**; 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** (Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Российская Федерация); д-р техн. наук, проф. **С.В. Борщевский**; д-р техн. наук, проф. **Е.В. Горохов**; председатель Госкомэкополитики при Главе ДНР **Р.В. Кишкань**; д-р хим. наук, проф. **А.И. Сердюк**; д-р техн. наук, ст. науч. сотр. **А.П. Симоненко**; 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. Belousov**.

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

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

The Members of the Editorial Board: 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. Molokovskiy**; 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. Zavadskaja**; Dr. of tech., prof. **S.A. Zori**; Dr. of tech., prof. **M.N. Cheptsov**; Cand. of tech. **T.V. Sharii**; Cand. of tech., docent **S.V. Gridin**; Dr. of tech., prof. **F.V. Nedopekin**; Dr. of tech., prof. **S.M. Safyants**; Dr. of phys. and math., Dr. of tech., prof. **V.K. Tolstykh**; Dr. of tech., prof. **G.V. Averin** (Belgorod State National Research University, Russian Federation); Dr. of tech., prof. **S.V. Borshchevskiy**; 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 chem., prof. **A.I. Serdiuk**; Dr. of tech., senior researcher **A.P. Simonenko**; Dr. of arch., docent **N.V. Sholukh**.

Адрес редакции: ГОУ ВПО «ДонНУ», ДНР 83001, 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 №6 от 03.07.2020 г.*

Вестник Донецкого национального университета

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

ОСНОВАН В 1997 ГОДУ

Номер посвящён памяти первого
главного редактора журнала,
профессора, доктора технических
наук, Вячеслава Владимировича
Белоусова

Серия Г: Технические науки

№ 2

Донецк 2020

СОДЕРЖАНИЕ

Вступительное слово 3

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

Шелехова О.Г., Винник А.О., Бурыкин И.В. Показатели надежности металлодетектора 4

РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

Колесник А.В., Паслён В.В. Исследование возможности применения нанопленок карбида титана в антенной технике 11

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Бабичева М.В., Цвелев Е.О. Тестирование WEB-приложений на устойчивость к низкоинтенсивным атакам отказа в обслуживании 16

Данилов В.В., Тимченко В.И., Тимошенко Н.А., Третьяков И.А. Физические основы функционирования элементной базы оптических информационных технологий 25

Кожеекина Е.Н., Богатова М.В. Программный комплекс для анализа свойств криптографических алгоритмов 37

Рушечников Я.И., Данилов В.В. Информационная технология локализации источника радиоизлучения на основе программно-определяемой радиосистемы 48

Дзюба А.В. Оптимизация расположения базовых станций в гетерогенных сетях сотовой связи LTE 55

ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

Захаров Н.И., Бирюков А.Б., Тупилко И.В., Шатович В.А. Энергоресурсосбережение в условиях интенсификации процессов теплопереноса при дегазации жидкого металла от растворенного в нем азота комплексным воздействием 60

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА И ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Симоненко А.П., Золотарёва И.А., Ключко Н.Ю. Эффективный способ дестабилизации отработанных технических масел в процессах их очистки от механических примесей и воды 70

Лебедев В.А., Иванов В.В., Веснин В.Н. Энергетические аспекты виброочистки поверхностей деталей от загрязнений 77

Памяти Вячеслава Владимировича Белоусова 85

Правила для авторов 88

Bulletin of Donetsk National University

SCIENTIFIC JOURNAL

FOUNDED IN 1997

Number dedicated to the memory of
the Editor-in-Chief of the journal,
Professor, Doctor of technical
Sciences, Vyacheslav Vladimirovich
Belousov

Series G: Technical science

No 2

Donetsk 2020

CONTENTS

Opening remark	3
INSTRUMENT ENGINEERING, METROLOGY AND INFORMATION-MEASURING INSTRUMENTS AND SYSTEMS	
<i>Shelekhova O.G., Vinnik A.O., Burykin I.V.</i> Metal detector reliability indicators	4
RADIO ENGINEERING AND COMMUNICATION	
<i>Kolesnik A.V., Paslyon V.V.</i> Possibility investigation of using titanium carbide nanofilms in antenna technology	11
COMPUTER SCIENCE AND COMPUTER FACILITIES AND MANAGEMENT	
<i>Babicheva M.V., Tzvelev E.O.</i> Testing WEB applications for resistance to low-intensity denial of service attacks	16
<i>Danilov V.V., Timchenko V.I., Timoshenko N.A., Tretiakov I.A.</i> Physical fundamentals of the functioning of the element base of optical information technologies	25
<i>Kozhekina E.N., Bogatova M.V.</i> Software complex for analysis of properties of cryptographic algorithms	37
<i>Rushechnicov Y.I., Danilov V.V.</i> Information technology for localizing the source of radiation on based on software-determined radio	48
<i>Dziuba A.V.</i> Optimization of base station's location in heterogeneous cellular networks LTE	55
INDUSTRIAL HEAT AND POWER ENGINEERING	
<i>Zaharov N.I., Birukov A.B., Tupilko I.V., Shatovich V.A.</i> Energy and resource saving under conditions of intensification of heat and mass transfer processes during liquid metal from nitrogen dissolved in it with complex exposure	60
ECOLOGICAL SAFETY OF CONSTRUCTION AND URBAN SERVICES	
<i>Simonenko A.P., Zolotaryova I.A., Klyuchko N.Yu.</i> The effective method of destabilization of waste technical oils in the processes of its cleaning of mechanical impurities and water	70
<i>Lebedev V.A., Ivanov V.V., Vesnin V.N.</i> Energy aspects of vibration cleaning of parts surfaces from contamination	77
In memory of Vyacheslav Vladimirovich Belousov	85
Instructions for authors	88

Уважаемые коллеги!

2 июня произошла большая трагедия для нашего факультета, на 66 году жизни, ушёл доктор технических наук, главный редактор журнала «Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки», а также всеми любимым заведующий кафедры ФНПМЭ им. И. Л. Повха - Вячеслав Владимирович Белоусов.

Очень сложно выразить словами, как мы все скорбим, ведь это большая утрата для всех и не только для Физико-Технического факультета. Мы выражаем искренние соболезнования всем родным и близким, но мы помним, что человек всегда жив, пока живы воспоминания о нем.

Вячеслав Владимирович Белоусов прожил долгую и полноценную жизнь и конечно многого достиг в своей жизни. Мы все уверены, что его всегда будут помнить как трудолюбивого, умного и доброго человека.

Именно для него можно посвятить такие добрые слова: «Тот, чьи поступки и дела происходили от души, от сердца».

Вечная память.

Данный номер нашего журнала посвящен памяти первого главного редактора Вячеслава Владимировича Белоусова.



Редакционная коллегия журнала и коллектив Физико-технического факультета

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 621.3.019.3

ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ МЕТАЛЛОДЕТЕКТОРА

© 2020 Шелехова О.Г., Винник А.О., Бурыкин И.В.

Выполнена оценка показателей надежности металлоискателя при различных параметрах окружающей среды и режимах работы, разработка рекомендаций по безаварийной эксплуатации при различных режимах работы и параметрах окружающей среды.

Ключевые слова: безотказность, интенсивность отказов, модель расчета эксплуатационной интенсивности отказов, наработка на отказ, вероятность безотказной работы.

Введение. Эксплуатация современного металлодетектора сопровождается разнообразными условиями работы, такими как: сильная запыленность, большая нагрузка, высокие и низкие температуры, зоны большого атмосферного давления, зоны повышенной влажности и т.д. [1].

Металлодетекторы широко используются в различных сферах (строительная, военная, криминалистика и др.) [1, 2], где диапазон температуры окружающей среды может существенно превышать допустимые техническим паспортом значения, а также могут происходить изменения нагрузки, существенно влияющие на их надежность. В связи с этим, возникает необходимость изучения влияния колебания температуры окружающей среды и различных режимов работы металлодетектора на показатели безотказности их работы.

Анализ современной научной литературы показывает [1, 3], что влияние условий окружающей среды и режимов работы металлодетекторов на показатели их надёжности недостаточно изучено и требует дальнейшего исследования.

Целью работы является оценка показателей надежности металлоискателя при различных параметрах окружающей среды и режимах работы, разработка рекомендаций по безаварийной эксплуатации при различных режимах работы и параметрах окружающей среды.

Основная часть. В работе было изучено влияние параметров окружающей среды и различных режимов работы на надежность на примере металлодетектора типа *Volksturm-1* [4]. В качестве примера в табл. 1 приведен вид математических моделей для расчета эксплуатационной интенсивности отказов различных элементов схемы, полученные в соответствии с методикой [5, 6].

В качестве примера в табл. 2 представлены поправочные коэффициенты K_i металлодетектора *Volksturm-1*, найденные с использованием методики прогнозирования эксплуатационной безотказности элементов отечественного производства, которая представлена в работах Боровикова С. М. [5, 6] и приведен в табл. 2.

Таблица 1. Модель для расчета эксплуатационной интенсивности отказов элементов схемы

Название элементов	Кол-во n_j	Вид математической модели расчета λ_{Σ}
Интегральные микросхемы	8	$\lambda_{\Sigma} = \lambda_{\text{Б}} K_t K_{\text{ИС}} K_{\text{корп}} K_V K_{\Sigma} K_{\text{П}}$
Биполярные транзисторы	5	$\lambda_{\Sigma} = \lambda_{\text{Б}} K_p K_{\text{Ф}} K_{\text{Д}} K_U K_{\Sigma} K_{\text{П}}$
Импульсные диоды	9	$\lambda_{\Sigma} = \lambda_{\text{Б}} K_p K_{\text{Ф}} K_{\text{Д}} K_{\Sigma} K_U K_{\text{П}}$
Слюдяные конденсаторы	11	$\lambda_{\Sigma} = \lambda_{\text{Б}} K_p K_C K_{\Sigma} K_{\text{П}}$
Электролитические алюминиевые конденсаторы	6	$\lambda_{\Sigma} = \lambda_{\text{Б}} K_p K_C K_{\Sigma} K_{\text{П}}$
Резисторы постоянные непроволочные	26	$\lambda_{\Sigma} = \lambda_{\text{Б}} K_p K_R K_M K_{\text{Д}} K_{\Sigma} K_{\text{П}}$
Резисторы переменные непроволочные	2	$\lambda_{\Sigma} = \lambda_{\text{Б}} K_p K_R K_U K_{\Sigma} K_{\text{П}}$

По результатам расчёта установлено среднее время безотказной работы металлодетектора при $\theta = -20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ и составляет 9,5 лет. Однако согласно паспорту металлодетектор *Volksturm-1* предназначен для работы при изменении температуры окружающей среды $\theta = (-20 \div 50) \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Результаты, представленные в табл. 2, 3 и на рис. 1–5 позволяют оценить влияние температуры окружающей среды (θ) и нагрузки (K_n) на надежность и срок безаварийной эксплуатации металлодетектора.

В качестве примера на рис. 1 представлены зависимости коэффициентов температуры (K_t) и коэффициентов нагрузки (K_p) элементов конструкции металлодетектора в функции температуры окружающей среды (θ) в абсолютных (рис. 1а) и относительных (рис. 1б) единицах. В качестве базовых приняты значения параметров надёжности при $\theta = -20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ и $K_n = 0,4$.

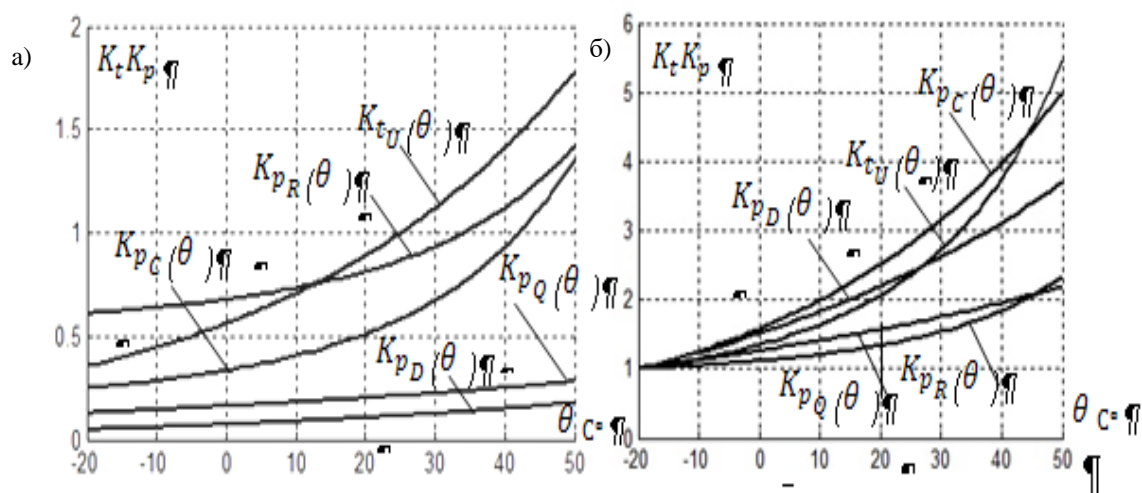


Рис. 1. Зависимость параметров математических моделей надежности (K_t , K_p) элементов конструкции металлодетектора от температуры (θ) в абсолютных (рис. 1а) и относительных (рис. 1б) единицах

Таблица 2. Значения поправочных коэффициентов, учитывающие влияние i -го фактора при $K_n = 0,4$

Позиционное обозначение элемента на принципиальной схеме	λ_b , 10^{-6} $1/ч$	Значение поправочного коэффициента														$\prod_{i=1}^m K_i$	λ_{Σ} , 10^{-6}
		K_P	K_t	K_{Φ}	$K_{корр}$	K_{Π}	K_{Φ}	$K_{Д}$	K_U	K_C	K_R	K_M	$K_{Д}$	$K_{Э}$	$K_{П}$		
1U1, 2U4	0.028	0.48		0.89	3	1								1	3.1	3.97	0.111
2U1	0.023	0.41		0.9	3	1								1	3.1	3.43	0.079
2U2	0.028	0.57		0.89	3	1								1	3.1	4.72	0.132
2U3	0.028	0.63		0.89	3	1								1	3.1	5.21	0.146
3U1, 4U1, 5U2	0.028	2.42		0.89	3	1								1	3.1	20	0.56
2Q1, 2Q3, 2Q2, 2Q4, 4Q1	0.044		0.2					1.5	1	0.5				1	2.4	0.12	0.005
1D1, 1D2, 2D1-2D3, 3D1, 5D1-5D3	0.025		0.11					1	0.8	0.7				1	5	0.3	0.008
1C1	0.04		0.05							2.24				1	3	0.34	0.013
1C2, 1C3, 2C2, 2C3, 4C2	0.04		0.05							2				1	3	0.3	0.012
2C1	0.04		0.1							0,64				1	3	0.19	0.008
3C1	0.04		0.1							2.5				1	3	0.75	0.03
3C2, 3C3	0.04		0.1							1.45				1	3	0.44	0.176
3C4	0.173		0.17							0.29				1	3	0.15	0.026
4C1	0.04		0.1							2.77				1	3	0.83	0.033
4C3	0.173		0.17							0.49				1	3	0.25	0.043
5C1, 5C2	0.173		0.17							0.69				1	3	0.35	0.06
5C3, 5C4	0.173		0.17							0.58				1	3	0.29	0.05
1R1, 4R5, 1R2, 2R4, 2R5, 4R2, 4R7, 3R1, 3R2, 3R7, 3R8, 4R4, 4R8	0.044		0.5								0.7	0.7	1	1	3	0.74	0.033
2R1, 3R3, 3R4, 4R6, 5R1, 5R2, 3R5, 3R6, 4R1, 4R3, 4R9	0.044		0.5								2	0.7	1	1	3	2.1	0.092
2R3	0.044		0.5								1	0.7	1	1	3	1.05	0.046
4VR1, 4VR2, 5S1	0.179		0.75						1.05		0.7		1	1	2	1.1	0.197

Из анализа результатов, представленных на рис. 1 следует, что наиболее интенсивный рост температурных коэффициентов при увеличении температуры наблюдается в интегральной микросхемах, конденсаторах и диодах. Например, при увеличении температуры от $-20^{\circ}C$ до $40^{\circ}C$ температурный коэффициент для интегральных микросхем (K_{IU}), конденсаторов (K_{IC}) и диодов (K_{ID}) возрастает в 3.75, 4.0, 3.1 раз соответственно. Темпы роста температурных коэффициентов для транзисторов (K_{IC}) и резисторов (K_{IC}) при том же диапазоне температур не превышают 1.9 и 1.8 раз соответственно.

При увеличении нагрузки с 0.4 до 0.6, коэффициенты для диодов (K_{PD}), конденсаторов (K_{PC}) и транзисторов (K_{PQ}) возрастают в 1.4, 1.7, 1.7 раз соответственно (рис. 2). Темпы роста коэффициента (K_{PR}) для резисторов при том же диапазоне температур не превышает 1.2 раза.

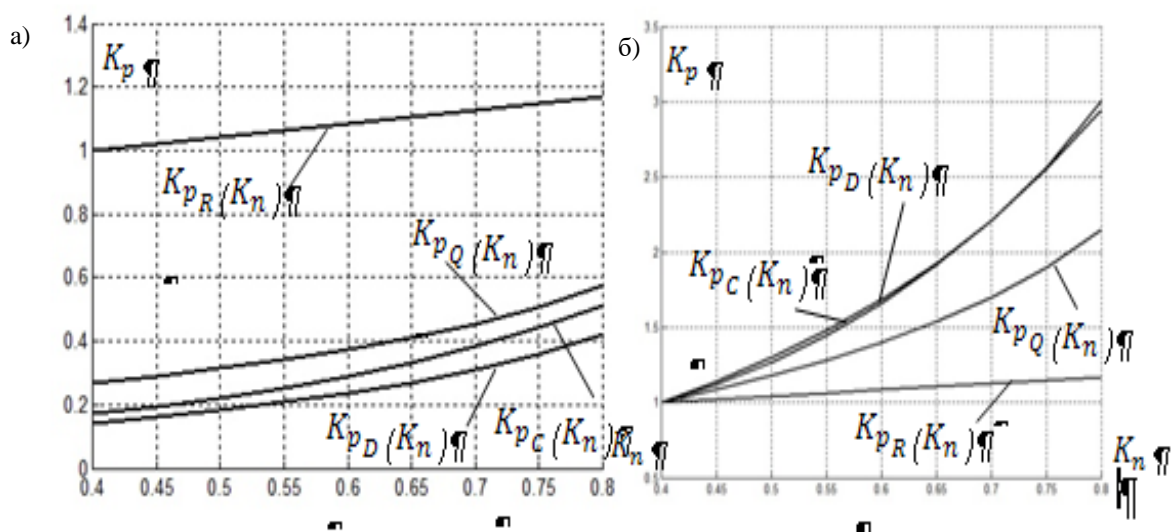


Рис. 2. Зависимость параметров математической модели надежности от нагрузки в абсолютных (рис. 2а) и относительных (рис. 2б) единицах

В результате наибольшая интенсивность отказов элементов конструкции металлодетекторов связана с отказами интегральных микросхем. Это объясняется тем, что с одной стороны у интегральных микросхем базовое значение интенсивности отказов выше по сравнению с другими элементами конструкции. Так, согласно табл. 2 наибольшая базовая интенсивность отказов $\lambda_B = 0.5610^{-6}$ приходится на группу интегральных микросхем *KP140УД608*, а с другой стороны интегральные микросхемы наиболее подвержены влиянию роста нагрузок и температур.

Рост параметров математических моделей приводит к росту интенсивности отказов (λ) и сокращению срока эксплуатации металлодетектора (рис. 4, 5), которая определяется по формуле [5]:

$$T_{cp} = 1/\lambda_{\Sigma},$$

где $\lambda_{\Sigma} = \lambda_B \prod_{i=1}^m K_i$ – суммарная интенсивность отказов металлодетектора;

m – количество факторов, принятых во внимание из числа влияющих на безотказность элементов;

K_i – коэффициенты, учитывающие изменение эксплуатационной интенсивности отказов, приведенные в табл. 2

Из анализа результатов, представленных на рис. 3 следует, что с ростом нагрузки влияние температуры на суммарную λ_{Σ} , возрастает. Например, при увеличении температуры от -20 до 40 °С, и при нагрузке 0.4 , рост суммарной интенсивности отказов λ_{Σ} составляет 2.5 раза, а при нагрузке 0.8 – 3 раза и т.д.

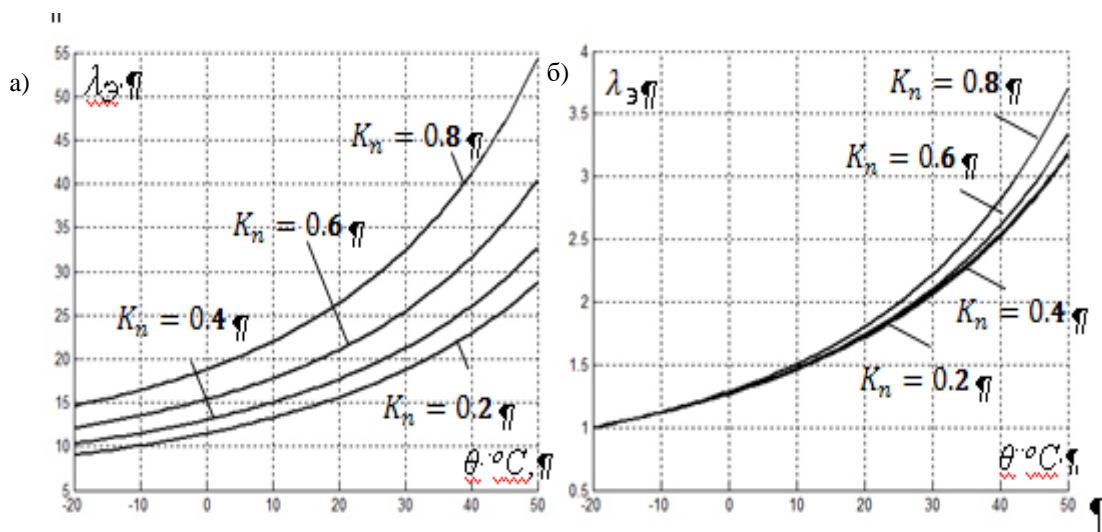


Рис. 3. Зависимость λ_3 от температуры при различных значениях θ и K_n в абсолютных (рис. 3а) и относительных (рис. 3б) единицах

Из результатов, представленных на рис. 4 следует, что независимо от нагрузки, зависимость среднего времени безотказной работы от температуры снижается примерно одинаково. Например, при увеличении температуры от -20 до 40 $^{\circ}\text{C}$, среднее время безотказной работы, при нагрузке 0.4 снижается в 2.5 раза, а при нагрузке в 0.8 – в 2.7 раз.

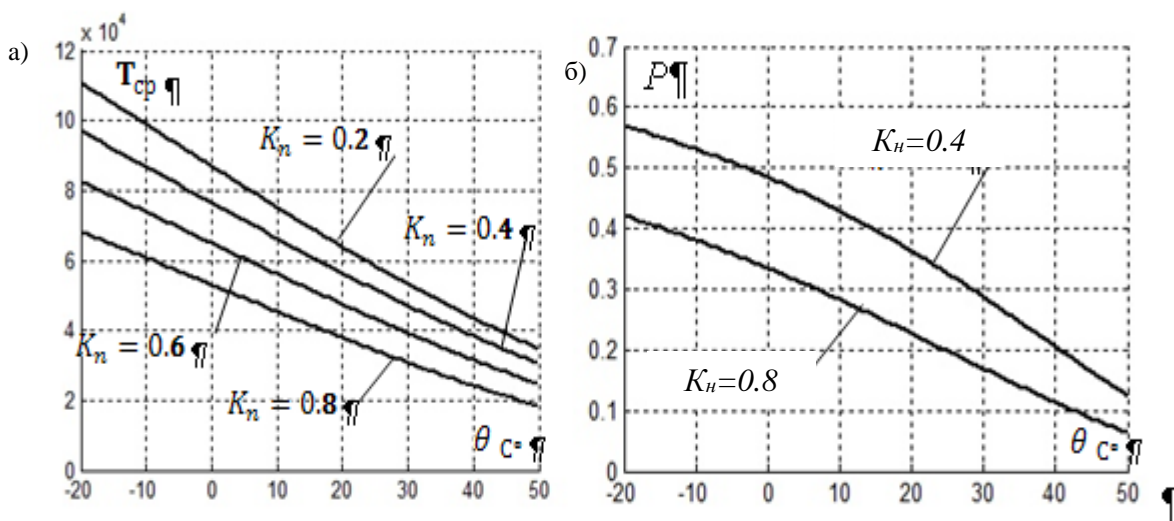


Рис. 4. Зависимость срока безаварийной эксплуатации (T_{cp}) (рис. 4а) и вероятности безотказной работы (P) (рис. 4б) от температуры при различных нагрузках

В результате рост температуры и нагрузки приводит к снижению надежности металлодетектора (рис. 5). Например (рис. 5), при нагрузке 0.8 и температуре 20 $^{\circ}\text{C}$ нагрузка существенно падает. Например, при нагрузке 0.4 и температуре 20 $^{\circ}\text{C}$ спустя 5 лет работы, надёжность металлодетектора упадет в 2.17 раза, а при нагрузке 0.8 и такой же температуре, – в 3.33 раза. Из рис. 5 следует, что металлоискатель не рекомендуется использовать при температуре более 20 $^{\circ}\text{C}$ и нагрузке выше 0.4 .

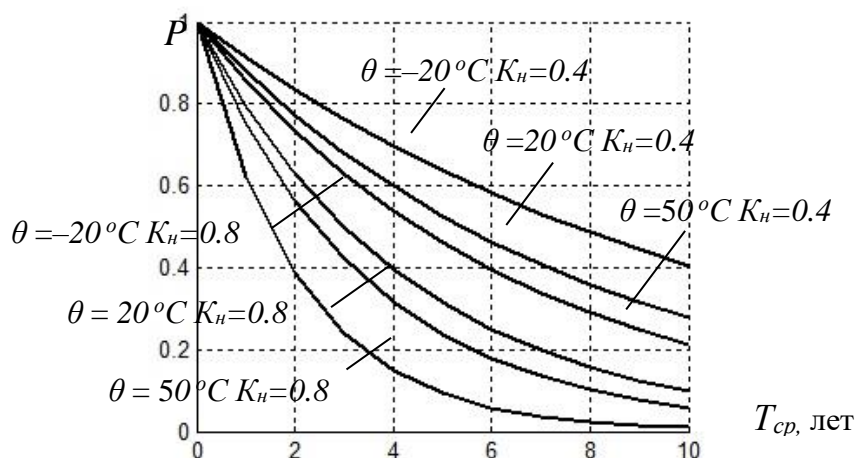


Рис. 5. Зависимость вероятности безотказной работы (P) от времени работы при различных значениях θ и K_n

Одним из путей повышения надёжности является резервирование отдельных его узлов или элементов. В качестве примера в табл. 3 приведены результаты позволяющие оценить возможность повышения надёжности устройства путём резервирования наиболее уязвимого элемента – группы интегральных микросхем.

Таблица 3. Надёжность металлодетектора при двухкратном и трёхкратном резервировании наиболее уязвимого элемента

n	$\theta = -20^{\circ}\text{C}$	$\theta = 20^{\circ}\text{C}$	$\theta = 50^{\circ}\text{C}$
1	0.42	0.23	0.08
2	0.47	0.3	0.115
3	0.49	0.335	0.137

Из анализа результатов, представленных в табл. 3 следует, что при увеличении надёжности самого уязвимого элемента в два раза надёжность устройства повышается в 1.1, 1.3, 1.4 раза при температуре окружающей среды $\theta = -20^{\circ}\text{C}$, $\theta = 20^{\circ}\text{C}$, $\theta = 50^{\circ}\text{C}$ соответственно. При увеличении надёжности группы интегральных микросхем в три раза, надёжность повышается в 1.16, 1.45, 1.71 раз, при температуре окружающей среды $\theta = -20^{\circ}\text{C}$, $\theta = 20^{\circ}\text{C}$, $\theta = 50^{\circ}\text{C}$ соответственно.

Выводы. В работе выполнена оценка надёжности металлодетектора при различных значениях температуры и нагрузки. В ходе исследования установлено, что металлодетектор может проработать более девяти лет однако рост температуры и нагрузке даже в пределах допустимых паспортом устройства приводит к сокращению срока его безаварийной эксплуатации в 2 и более раз. Установлено, что путем резервирования наименее надежного элемента металлодетектора надёжность устройства может быть увеличена на 45% и более.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козак Т. Н. Анализ параметров надёжности прибора досмотрового контроля / Т. Н. Козак // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 2. – С. 49-52.
2. Шелехова О. Г. Оценка влияния температуры окружающей среды на показатели надёжности детектора банкнот / О. Г. Шелехова, В. В. Кущенко, В. И. Попадин // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г. Технические науки. – 2019. – № 1. – С. 17-23.
3. Филиппов Б. И. Определение характеристик надёжности радиоэлектронных систем / Б. И. Филиппов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2016. – № 2. – С. 42-49.
4. Металлоискатель Volksturm-1 // Сайт Паяльник. – URL: <http://sxem.net/metal/Part6/6-9.php> (дата обращения: 18.02.2020). – Текст : электронный.
5. Боровиков С. М. Расчёт показателей надёжности радиоэлектронных средств : учебно-методическое пособие / С. М. Боровиков, И. Н. Цырельчук, Ф. Д. Троян ; под редакцией С. М. Боровикова. – Минск : БГУИР, 2010. – 68 с.
6. Боровиков С. М. Теоретические основы конструирования, технологии и надёжности : учебно-методическое пособие / С. М. Боровиков, Т. В. Малышева ; под редакцией С. М. Боровикова. – Минск : БГУИР, 2004. – 55 с.

Поступила в редакцию 03.06.2020 г.

METAL DETECTOR RELIABILITY INDICATORS

Shelekhova O.G., Vinnik A.O., Burykin I.V.

The reliability indicators of the metal detector under various environmental parameters and operating modes were evaluated, and recommendations were developed for trouble-free operation under various operating modes and environmental parameters.

Keywords: failure-free operation, failure rate, model for calculating the operational failure rate, time to failure, probability of failure-free operation.

Шелехова Ольга Георгиевна

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

Shelekhova Olga Georgievna

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

Винник Алексей Олегович

студент кафедры компьютерных технологий ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», ДНР, г. Донецк.
E-mail: vinnik_21@bk.ru

Vinnik Aleksei Olegovich

Student at Department of Computer Technologies of Donetsk National University, DPR, Donetsk.

Бурькин Иван Валерьевич

студент кафедры компьютерных технологий ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», ДНР, г. Донецк.
E-mail: filastian.07@gmail.com

Burykin Ivan Valerevich

Student at Department of Computer Technologies of Donetsk National University, DPR, Donetsk.

РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

УДК 621.396.67:539.23

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОПЛЕНОК КАРБИДА ТИТАНА В АНТЕННОЙ ТЕХНИКЕ

© 2020 Колесник А.В., Паслён В.В.

В работе анализируется возможность внедрения новых материалов в антенную технику для уменьшения массогабаритных характеристик антенн. Рассматриваются результаты имеющихся исследований по применению нанопленок карбида титана в антенной технике. Описывается моделирование зеркальной антенны с применением тонких пленок Ti3C2 в программе CST Microwave Studio.

Ключевые слова: нанопленки, скин-слой, карбид титана, CST Microwave Studio, Ti3C2, моделирование.

Постановка проблемы и ее связь с актуальными научными исследованиями. Антенная техника широко используется в повседневной жизни современного человека. Одним из основных устройств, необходимых для функционирования мобильной и спутниковой связи, различных видов телевидения, систем глобальной навигации, интернета, являются соответствующие для каждого случая антенны. Работа радиолокационных и радионавигационных систем, систем радиоуправления также базируется на использовании антенн.

На данный момент электрические и, главное, массогабаритные характеристики антенн ограничены используемыми материалами. Перспектива дальнейшего развития антенной техники состоит в исследовании и внедрении новых материалов, которые позволили бы создавать высокопрочные и, в то же время, легкие антенны, имеющие малые габариты, а также обладающие оптической прозрачностью и механической гибкостью. Вопрос массогабаритных характеристик антенн особенно остро стоит для искусственных спутников, ведь запускаемый на орбиту спутник имеет жесткие ограничения по массе и форме.

После внезапного появления графена в научном мире началось интенсивное исследование двумерных материалов и их свойств. В ряде статей, монографий и изданий имеется информация о свойствах, структуре, технологиях и применении наноматериалов и наноструктур, однако приводится описание лишь отдельных представителей классов и не отражаются в полном объеме особенности современного направления нанотехнологий.

Благодаря развитию сферы компьютерного имитационного моделирования предоставляется возможным исследовать разнообразные физические процессы без создания реальных моделей. В области электродинамики существует ряд программных продуктов, которые базируются на решении уравнений Максвелла с заданной точностью. Они позволяют моделировать сверхвысокочастотные структуры из различных материалов, выводить их характеристики, производить оптимизацию структур.

Целью данной работы является исследование возможности применения нанопленок карбида титана в антенной технике путем электродинамического

моделирования в программном продукте CST Microwave Studio. Применение наноматериалов должно позволить преодолеть имеющиеся у металлических антенн ограничения.

Основная часть статьи. Применение металлов при создании антенн обусловлено необходимостью высокой электрической проводимости для приема и излучения радиоволн. Эффективность тонких металлических антенн ограничена параметром, называемым глубиной скин-слоя, которая представляет собой толщину материала, где электрический ток высокой частоты протекает с наибольшей эффективностью. Глубина скин-слоя зависит от частоты: при увеличении частоты глубина проникновения тока в материал уменьшается. Для обеспечения достаточного пространства для протекания электрического тока толщина проводника должна иметь значение в несколько раз (приблизительно в 4 – 5 раз) превышающее глубину скин-слоя.

Среди всех рассматриваемых 2D материалов, которые сейчас известны, пленки карбида титана (Ti_3C_2) имеют самую высокую удельную электрическую проводимость (до $5000 \div 10\,000$ См/см) [1], что выше, чем у других двумерных материалов, известных на данный момент. Пленки карбида титана представляют собой тонкие слои материала, толщина которых находится в диапазоне от долей нанометра до нескольких микрон. Двумерный карбид титана относится к семейству двумерных карбидов и нитридов переходных металлов, известных как $MXenes$, с формулой M_n+1X_n , где M является ранним переходным металлом (например Ti , V , Nb и Mo) и X – это углерод или азот [2].

В исследованиях 2018 года учеными университета Дрекселя были созданы первые гибкие дипольные антенны $MXene$ с толщиной от 62 нм до 1,4 мкм, распыленные на листах полиэтилентерефталата (ПЭТ), работающие в полосах частот Wi-Fi и Bluetooth (2,4 ГГц). Основные характеристики дипольной антенны толщиной 1,4 мкм: сопротивление листа напыленной пленки $R=0,77$ Ом/кв; коэффициент усиления (КУ) $G=1,7$ дБ; коэффициент обратных потерь $S_{11}=-36$ дБ [1], что превосходит графен размером 12 мкм и печатные серебряные чернила. Проведенное учеными электродинамическое моделирование показало совпадение моделируемых параметров антенны с полученными экспериментально.

На основании имеющихся данных на кафедре радиотехники и защиты информации в программном продукте CST Microwave Studio была разработана модель зеркальной антенны, материал которой представляет собой тонкую пленку Ti_3C_2 . Внешний вид модели представлен на рис. 1.

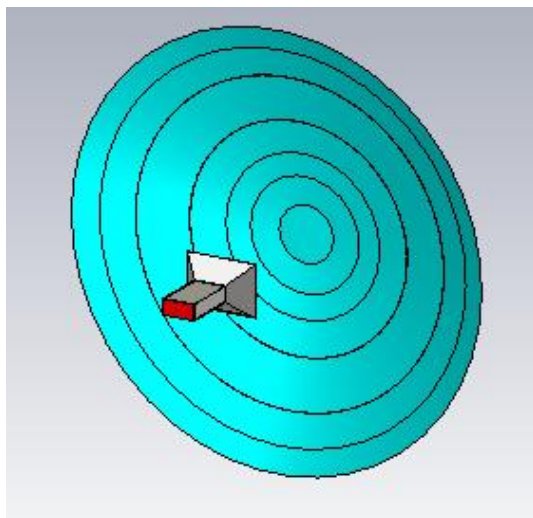


Рис. 1. Модель зеркальной антенны в программе CST Studio

Тонкие пленки в CST Microwave Studio моделируются через поверхностный импедансный слой с удельным сопротивлением, определяемым сопротивлением листа. В качестве облучателя использовался рупор из идеального проводника для ускорения вычислений.

Во время проведения моделирования производилось изменение толщины и, соответственно, сопротивления материала. Возбуждение волновода рупорной антенны производилось волноводным портом с мощностью 0,489 Вт на частоте 3,6 ГГц. Также для сравнения была создана модель антенны из идеального электрического проводника (PEC). Результаты моделирования представлены в табл. 1. Графики потерь мощности в материале зеркала и диаграммы направленности (ДН) в прямоугольной системе координат для зеркальных антенн из пленок Ti3C2 с толщинами 0,07 мкм и 1,4 мкм, а также для антенны из PEC представлены на рис. 2 – 6 соответственно.

Таблица 1. Результаты моделирования зеркальной антенны с различной толщиной материала зеркала

Материал	Толщина пленки, мкм	Сопротивление, Ом/кв	Потери мощности, Вт	KV, ед.
Ti3C2	8	0,02	0,000104	402
Ti3C2	1,4	0,77	0,004	399
Ti3C2	0,102	25,6	0,112	307
Ti3C2	0,07	47	0,183	242
PEC	2000	–	–	402

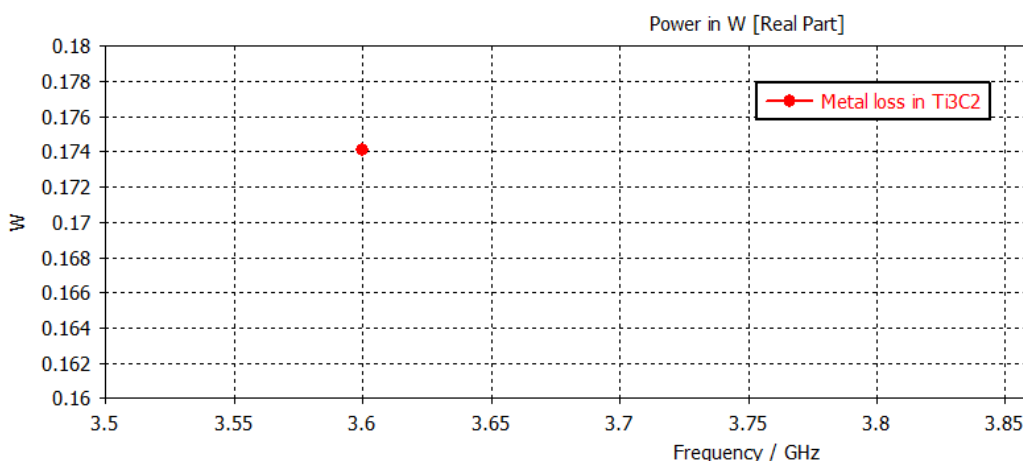


Рис. 2. График потерь мощности в материале зеркала с толщиной пленки 0,07 мкм

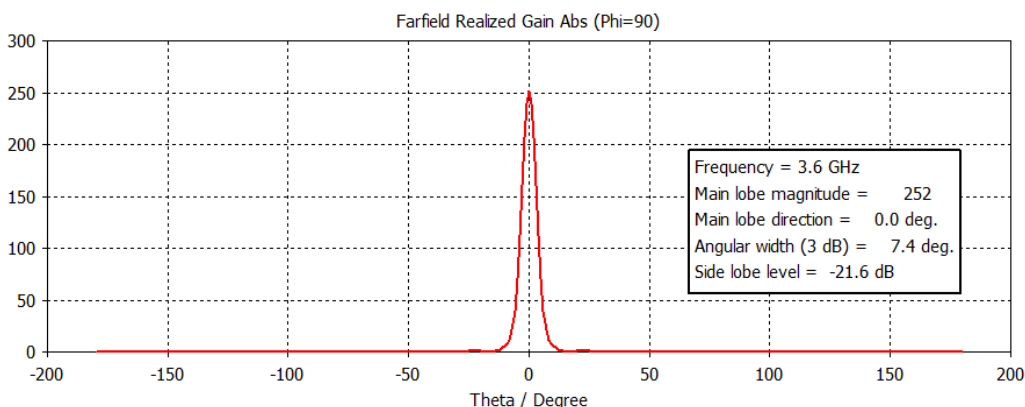


Рис. 3. ДН в прямоугольной системе координат для зеркальной антенны с толщиной пленки 0,07 мкм

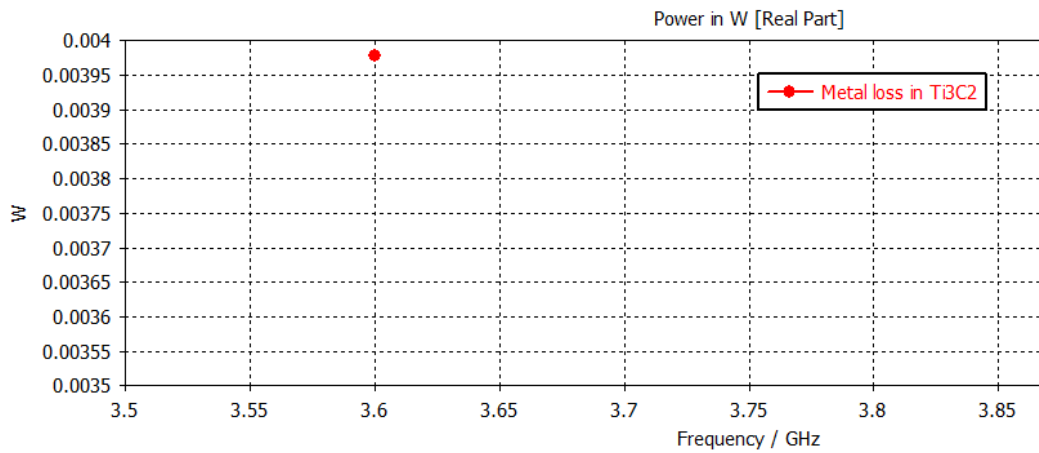


Рис. 4. График потерь мощности в материале зеркала с толщиной пленки 1,4 мкм

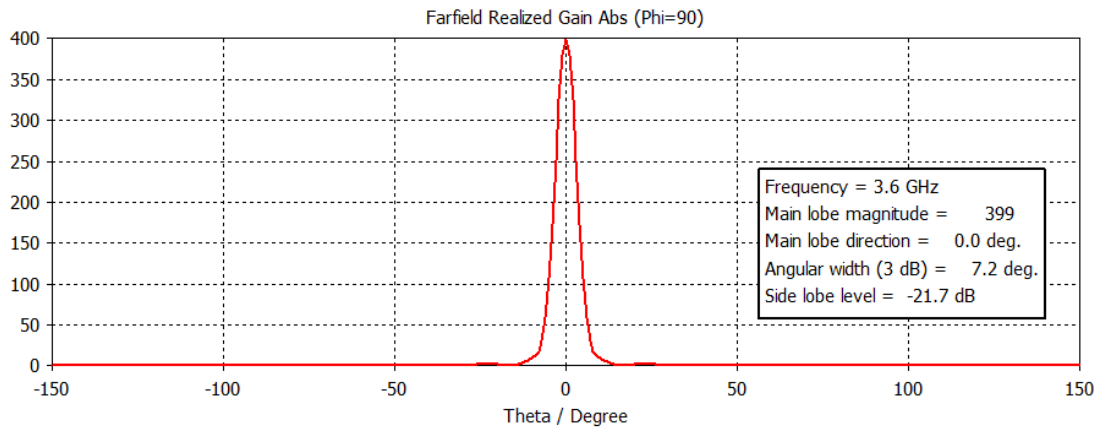


Рис. 5. ДН в прямоугольной системе координат для зеркальной антенны с толщиной пленки 1,4 мкм

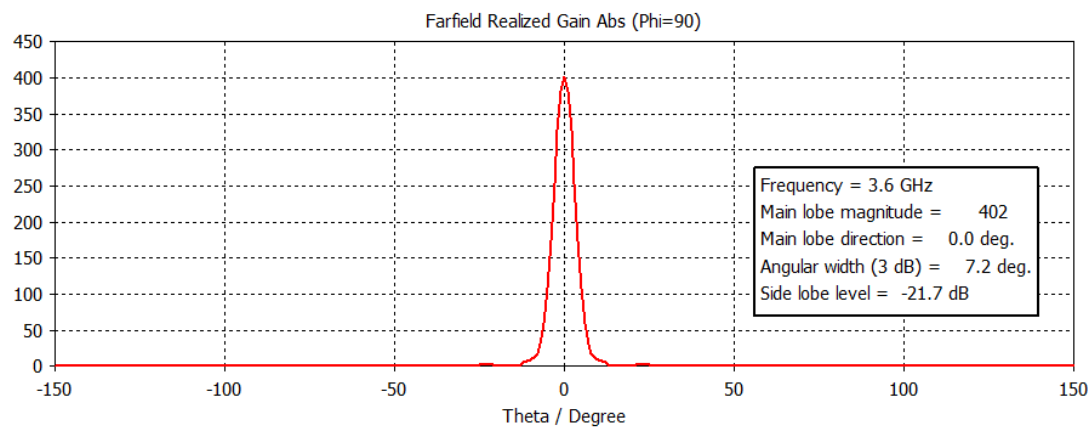


Рис. 6. ДН в прямоугольной системе координат для зеркальной антенны на основе идеального проводника

Выводы. В результате работы было установлено, что с уменьшением толщины пленки Ti3C2 увеличиваются потери мощности в материале зеркала и происходит уменьшение КУ антенны. При толщинах от 1 мкм, КУ антенны приближается к КУ антенны из идеального проводника (PEC).

Таким образом, зеркальная антенна, созданная с применением нанопленок карбида титана при толщинах пленки от 1 мкм и выше, что уже является достаточно малым значением толщины, показала эффективность сопоставимую с традиционными антеннами из металла. Можно сделать вывод, что применение нанопленок карбида титана для уменьшения массогабаритных характеристик антенн может быть реализовано на практике. Однако необходимо дальнейшее проведение исследований касемо механических свойств таких антенн и устойчивости в различных условиях окружающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sarycheva A. 2D titanium carbide (MXene) for wireless communication / Asia Sarycheva, Alessia Polemi, Yuqiao Liu, Kapil Dandekar, Babak Anasori, Yury Gogotsi // Science Advances. – 2018. – Vol. 4, No. 9.
2. Lipatov A. Elastic properties of 2D Ti3C2Tx MXene monolayers and bilayers / Alexey Lipatov, Haidong Lu, Mohamed Alhabeab, Babak Anasori, Alexei Gruverman, Yuri Gogotsi, Alexander Sinitskii // Science Advances. – 2018. – Vol. 4, No. 6.

Поступила в редакцию 04.06.2020 г.

POSSIBILITY INVESTIGATION OF USING TITANIUM CARBIDE NANOFILMS IN ANTENNA TECHNOLOGY

Kolesnik A.V., Paslyon V.V.

The need to introduce new materials into antenna technology to reduce the mass and size characteristics of antennas is analyzed in paper. The results of available research on the use of titanium carbide nanofilms in antenna technology are briefly reviewed. A simulation of a dish antenna using Ti3C2 thin films in the CST Microwave Studio is described.

Keywords: nanofilms, skin-layer, titanium carbide, CST Microwave Studio, Ti3C2, simulation.

Колесник Алексей Владимирович

студент 2-го курса магистратуры Донецкого национального технического университета, факультет компьютерных информационных технологий и автоматизации, специальность «Радиотехника», ДНР, г. Донецк.
E-mail: aleks13.k@mail.ru

Kolesnik Aleksei Vladimirovich

Student of the 2nd course of the master's degree of the Donetsk National Technical University of the Faculty of Computer Information Technologies and Automatics of the specialty "Radio Engineering" DPR, Donetsk.

Паслён Владимир Владимирович

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой радиотехники и защиты информации Донецкого национального технического университета, ДНР, г. Донецк.
E-mail: paslen@ya.ru

Paslyon Vladimir Vladimirovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Radio Engineering and Information Protection of Donetsk National Technical University, DPR, Donetsk.

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 004.056.5

ТЕСТИРОВАНИЕ WEB-ПРИЛОЖЕНИЙ НА УСТОЙЧИВОСТЬ К НИЗКОИНТЕНСИВНЫМ АТАКАМ ОТКАЗА В ОБСЛУЖИВАНИИ

© 2020 *Бабичева М.В., Цвелев Е.О.*

В работе реализованы два вида низкоинтенсивных атак типа «отказ в обслуживании» на тестовое веб-приложение, на уровне протокола HTTP, на серверах Apache и Nginx под управлением операционных систем Windows и Kali Linux. Представлены методы обнаружения подобных атак и приведены характерные признаки. Показано, что для эффективного противодействия необходимо знать тип, характер и другие показатели атаки «отказ в обслуживании». Проведено тестирование ряда веб-приложений к медленным Dos атак. Обобщены существующие методы защиты от подобных атак. Разработана лабораторная работа для обучения студентов и системных администраторов методам защиты от медленных атак на уровне приложений.

Ключевые слова: медленные Dos атаки, серверы Apache и Nginx, slowhttptest, Slowloris, Slow HTTP POST.

Введение. Многие современные интернет-сервисы уязвимы к атакам отказа в обслуживании глобального масштаба, который может быть достигнут путем компрометации достаточного количества хостов (обычно с использованием вируса или червя) и использования этих скомпрометированных машин для совершения атаки. Однако и один хост может выполнить успешную DoS-атаку на web-ресурс, в случае проведения медленной атаки и отсутствии защиты на сервере [1]. Несмотря на то, что такого рода атаки, эксплуатирующие уязвимость протокола http известны еще с 2009 года, и с тех пор разработано много способов для защиты серверов, настоящее исследование показывает, что многие web-приложения все еще уязвимы к медленным атакам. Целью данной работы является тестирование web-приложений на уязвимость к медленным атакам и обобщение методов защиты от них. В работе рассмотрены 2 типа таких атак: Slowloris и Slow HTTP POST. Атака SlowLoris заключается в отправке незавершенных HTTP-запросов, чтобы занять стек приложения и держать соединения открытыми. WEB-сервер быстро достигает максимальной емкости стека и становится недоступным для новых подключений легитимных пользователей. При проведении Slow HTTP POST, атакующий отправляет большое число данных на web-сайт, маскируясь под легитимную отправку данных пользователями. Использование различных параметров запросов позволяет избежать обнаружения и блокирования атаки при помощи средств защиты на основе анализа трафика.

Для рассмотренных сценариев атак характерны следующие признаки:

- генерация периодического трафика малого объема;
- атакующее воздействие составляют однотипные элементы трафика;
- отдельный запрос или сетевой пакет нельзя определить, как аномалию [2].

Стенд для исследования. Для исследования slowhttp атак на web приложения был использован следующий стенд. Компьютер используемый для атаки с процессором intel core i5-3550, частотой 3.3GHz, ОЗУ 16 Гб и жестким диском на 1Тб и компьютер с

процессором intel core i5-3570, частотой 3.4 GHz, ОЗУ 16 Гб и жестким диском на 1 Тб. На компьютере жертвы было запущено тестовое web-приложение на сервере ospanel, (Apache 2.4 или Nginx 1.4) и в Kali Linux Apache 2.4.29 и Nginx 1.13.6 . Для осуществления атаки использовался SlowHTTPTest - настраиваемый инструмент Kali Linux (версия 2019.4), имитирующий атаки на отказ в обслуживании на уровне приложений. Kali linux была запущена на виртуальной машине VMware Workstation 15.

Параметры атак. Для проведения атаки slowloris использовалась утилита Slowhttpstest, команды вида:

slowhttpstest -c 1000 -H -i 10 -r 200 -t GET -u http://172.16.70.181/ -x 24 -p 3 с различными параметрами, здесь:

- c - количество соединений с целью (1000);
- H - slow headers a.k.a. (Slowloris) название атаки;
- i - интервал между обновлениями статуса сервера(10);
- r - количество подключений в секунду (200);
- t - какого типа запрос используется (GET);
- u - цель атаки (http://172.16.70.181/);
- p - время ожидания http ответа в секундах (3).

Для атаки slow http post в команде изменялся параметр -H на -B и вместо GET запросов отсылались FAKEVERB запросы со специальным образом сформированным заголовком Content-length которые сервер читает очень долго:

slowhttpstest -c 3000 -B -g -o my_body_stats -i 310 -r 400 -s 8192 -t FAKEVERB -u http://172.16.71.0/info.php -x 15 -p 5.

Особенности проведения атак исследовались как штатными средствами программы, так и сетевым sniffером Wireshark 3.2.2.

Атака Slowloris. На рисунке 1 представлен интерфейс утилиты Slowhttpstest. Слева – начало тестирования. Справа- результат успешной атаки. «Yes» - означает наличие доступа к серверу, «No» - сервер недоступен.

```

slowhttpstest version 1.6
- https://code.google.com/p/slowhttpstest/ -
test type: SLOW HEADERS
number of connections: 1000
URL: http://172.16.71.0/info.php
verb: GET
Content-Length header value: 4096
follow up data max size: 52
interval between follow up data: 10 seconds
connections per seconds: 200
probe connection timeout: 3 seconds
test duration: 240 seconds
using proxy: no proxy

Fri Feb 28 03:12:59 2020:
slow HTTP test status on 0th second:

initializing: 0
pending: 1
connected: 0
error: 0
closed: 0
service available: YES

slowhttpstest version 1.6
- https://code.google.com/p/slowhttpstest/ -
test type: SLOW HEADERS
number of connections: 1000
URL: http://172.16.71.0/info.php
verb: GET
Content-Length header value: 4096
follow up data max size: 52
interval between follow up data: 10 seconds
connections per seconds: 200
probe connection timeout: 3 seconds
test duration: 240 seconds
using proxy: no proxy

Fri Feb 28 03:11:59 2020:
slow HTTP test status on 5th second:

initializing: 0
pending: 679
connected: 0
error: 0
closed: 0
service available: NO
  
```

Рис. 1. Результат выполнения атаки slowloris на компьютере атакующего

Если в этот момент попытаться зайти в приложение на компьютере «жертвы», то оно не загружается. На рисунке 2 представлен внешний вид приложения, слева – до проведения атаки, справа – в процессе проведения атаки. Утилита slowhttptest позволяет получить график сетевого трафика во время атаки. На рисунке 3 можно увидеть, что в процессе атаки ресурс стал недоступен (зеленая кривая ушла в 0), возросло количество попыток соединения (красная кривая), соединение закрылось, ресурс недоступен (синяя кривая). По оси x время в секундах, по оси y-количество соединений.

Для исследования атаки также использовался анализатор трафика Wireshark. Были сняты графики трафика и проанализированы пакеты которые отправляет атакующий хост хосту жертвы.

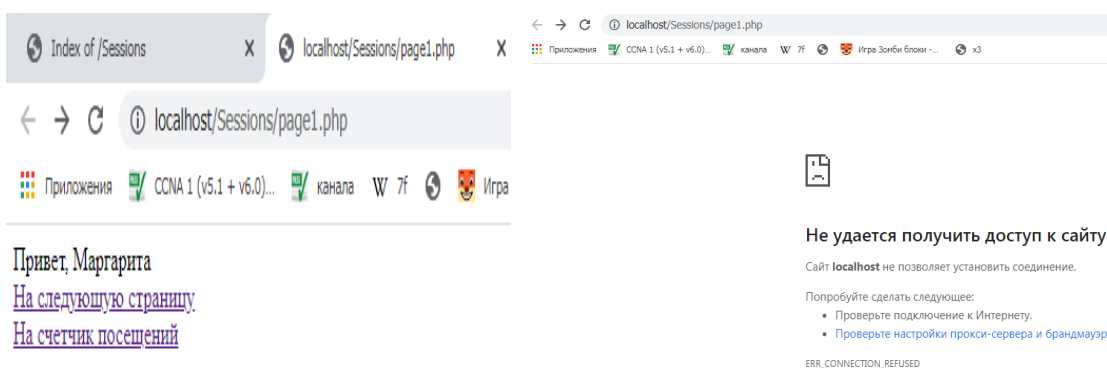


Рис. 2. В ходе атаки Slowloris невозможно загрузить тестовое приложение

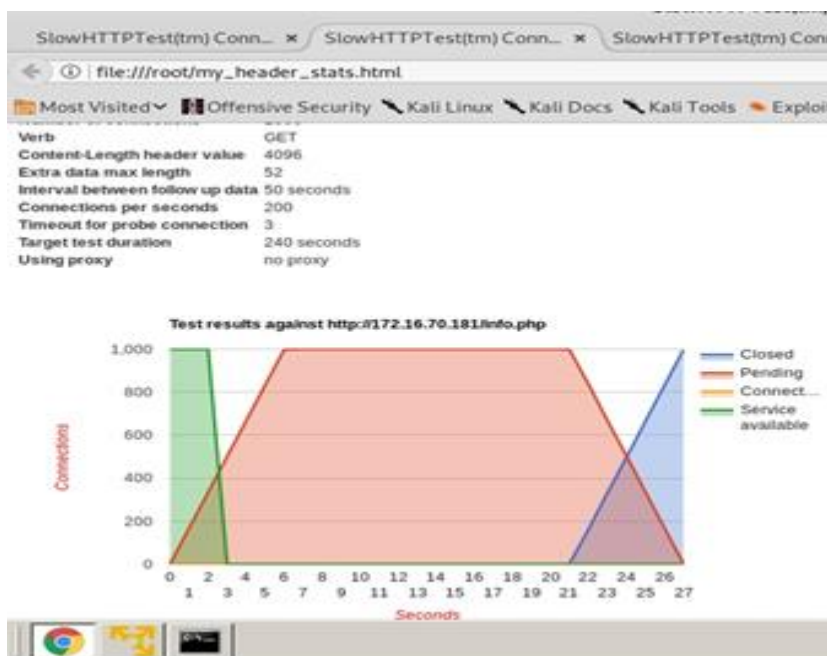


Рис. 3. Отчет Slowhttptest о проведении атаки slowloris

На рисунке 4 представлен график потерь в Wireshark в момент dos атаки slowloris. Пики на графике – характерное поведение трафика во время медленной dos атаки [3].

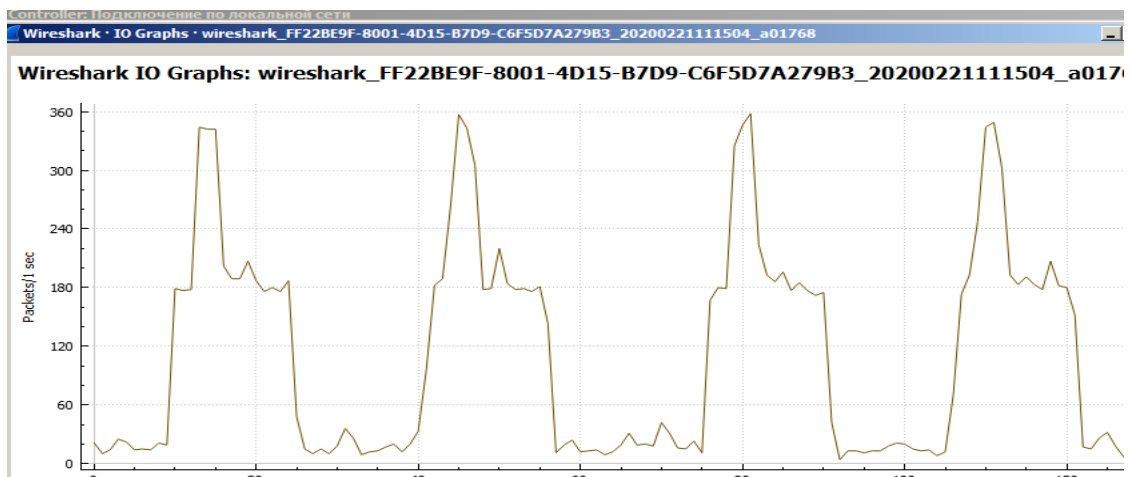


Рис. 4. График потерь TCP трафика для атаки slowloris

Присутствуют все признаки dos-атаки. Причем, обычными средствами отличить трафик, генерируемый в ходе данной атаки, от легального HTTP-трафика достаточно сложно, кроме того, каналы передачи данных практически не перегружаются. Анализ журналов логов сервера жертвы показывает, что в них нет никаких подозрительных записей. При этом наблюдается фактический отказ веб-сервера и прекращение доступа к приложению. Все графики представлены для сервера Apache (Ospanel, Windows), однако для Nginx и обоих серверов в ОС Linux результаты аналогичны.

Атака Slow HTTP POST. Графики трафика для атаки http post незначительно отличаются от графиков для атаки slowloris. На рисунке 5 представлены незавершенные запросы, идущие от атакующего хоста к хосту жертвы.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
8290	20.116225	172.16.70.77	172.16.71.0	TCP	62	[TCP Retransmission] 61823 → 80 [SYN] Seq=0 Win=64240 Len=0 MSS=1460 SACK_PERM=1
8291	20.121087	172.16.70.77	172.16.71.0	TCP	62	[TCP Retransmission] 61824 → 80 [SYN] Seq=0 Win=64240 Len=0 MSS=1460 SACK_PERM=1
8292	20.126174	172.16.70.77	172.16.71.0	TCP	62	[TCP Retransmission] 61825 → 80 [SYN] Seq=0 Win=64240 Len=0 MSS=1460 SACK_PERM=1
8293	20.136135	172.16.70.77	172.16.71.0	TCP	62	[TCP Retransmission] 61827 → 80 [SYN] Seq=0 Win=64240 Len=0 MSS=1460 SACK_PERM=1
8294	20.136226	172.16.70.77	172.16.71.0	TCP	62	[TCP Retransmission] 61826 → 80 [SYN] Seq=0 Win=64240 Len=0 MSS=1460 SACK_PERM=1
8295	20.146134	172.16.70.77	172.16.71.0	TCP	62	[TCP Retransmission] 61829 → 80 [SYN] Seq=0 Win=64240 Len=0 MSS=1460 SACK_PERM=1
8296	20.146227	172.16.70.77	172.16.71.0	TCP	62	[TCP Retransmission] 61828 → 80 [SYN] Seq=0 Win=64240 Len=0 MSS=1460 SACK_PERM=1
8297	20.151140	172.16.70.77	172.16.71.0	TCP	62	[TCP Retransmission] 61830 → 80 [SYN] Seq=0 Win=64240 Len=0 MSS=1460 SACK_PERM=1
8298	20.156164	172.16.70.77	172.16.71.0	TCP	62	[TCP Retransmission] 61831 → 80 [SYN] Seq=0 Win=64240 Len=0 MSS=1460 SACK_PERM=1
8299	20.166238	172.16.70.77	172.16.71.0	TCP	62	[TCP Retransmission] 61833 → 80 [SYN] Seq=0 Win=64240 Len=0 MSS=1460 SACK_PERM=1
8300	20.166231	172.16.70.77	172.16.71.0	TCP	62	[TCP Retransmission] 61832 → 80 [SYN] Seq=0 Win=64240 Len=0 MSS=1460 SACK_PERM=1
8301	20.171095	172.16.70.77	172.16.71.0	TCP	62	[TCP Retransmission] 61834 → 80 [SYN] Seq=0 Win=64240 Len=0 MSS=1460 SACK_PERM=1
8302	20.176161	172.16.70.77	172.16.71.0	TCP	62	[TCP Retransmission] 61835 → 80 [SYN] Seq=0 Win=64240 Len=0 MSS=1460 SACK_PERM=1
8303	20.181132	172.16.70.77	172.16.71.0	TCP	62	[TCP Retransmission] 61836 → 80 [SYN] Seq=0 Win=64240 Len=0 MSS=1460 SACK_PERM=1
8304	20.186132	172.16.70.77	172.16.71.0	TCP	62	[TCP Retransmission] 61837 → 80 [SYN] Seq=0 Win=64240 Len=0 MSS=1460 SACK_PERM=1
8305	20.196141	172.16.70.77	172.16.71.0	TCP	62	[TCP Retransmission] 61839 → 80 [SYN] Seq=0 Win=64240 Len=0 MSS=1460 SACK_PERM=1
8306	20.196234	172.16.70.77	172.16.71.0	TCP	62	[TCP Retransmission] 61838 → 80 [SYN] Seq=0 Win=64240 Len=0 MSS=1460 SACK_PERM=1
8307	20.206140	172.16.70.77	172.16.71.0	TCP	62	[TCP Retransmission] 61840 → 80 [SYN] Seq=0 Win=64240 Len=0 MSS=1460 SACK_PERM=1
8308	20.206232	172.16.70.77	172.16.71.0	TCP	62	[TCP Retransmission] 61841 → 80 [SYN] Seq=0 Win=64240 Len=0 MSS=1460 SACK_PERM=1
8309	20.211135	172.16.70.77	172.16.71.0	TCP	62	[TCP Retransmission] 61843 → 80 [SYN] Seq=0 Win=64240 Len=0 MSS=1460 SACK_PERM=1
8310	20.216163	172.16.70.77	172.16.71.0	TCP	62	[TCP Retransmission] 61842 → 80 [SYN] Seq=0 Win=64240 Len=0 MSS=1460 SACK_PERM=1
8311	20.221089	172.16.70.77	172.16.71.0	TCP	62	[TCP Retransmission] 61845 → 80 [SYN] Seq=0 Win=64240 Len=0 MSS=1460 SACK_PERM=1
8312	20.226161	172.16.70.77	172.16.71.0	TCP	62	[TCP Retransmission] 61844 → 80 [SYN] Seq=0 Win=64240 Len=0 MSS=1460 SACK_PERM=1
8313	20.236098	172.16.70.77	172.16.71.0	TCP	62	[TCP Retransmission] 61846 → 80 [SYN] Seq=0 Win=64240 Len=0 MSS=1460 SACK_PERM=1
8314	20.236957	172.16.70.77	172.16.71.0	TCP	62	[TCP Retransmission] 61847 → 80 [SYN] Seq=0 Win=64240 Len=0 MSS=1460 SACK_PERM=1
8315	20.241142	172.16.70.77	172.16.71.0	TCP	62	[TCP Retransmission] 61849 → 80 [SYN] Seq=0 Win=64240 Len=0 MSS=1460 SACK_PERM=1
8316	20.246166	172.16.70.77	172.16.71.0	TCP	62	[TCP Retransmission] 61848 → 80 [SYN] Seq=0 Win=64240 Len=0 MSS=1460 SACK_PERM=1
8317	20.256142	172.16.70.77	172.16.71.0	TCP	62	[TCP Retransmission] 61850 → 80 [SYN] Seq=0 Win=64240 Len=0 MSS=1460 SACK_PERM=1

Рис. 5. В процессе атаки slow http post можно наблюдать большое количество незавершенных tcp соединений

На рисунке 6 представлен график для сервера Nginx, который отличается тем, что после закрытия соединения атакующий хост продолжает посылать http запросы.

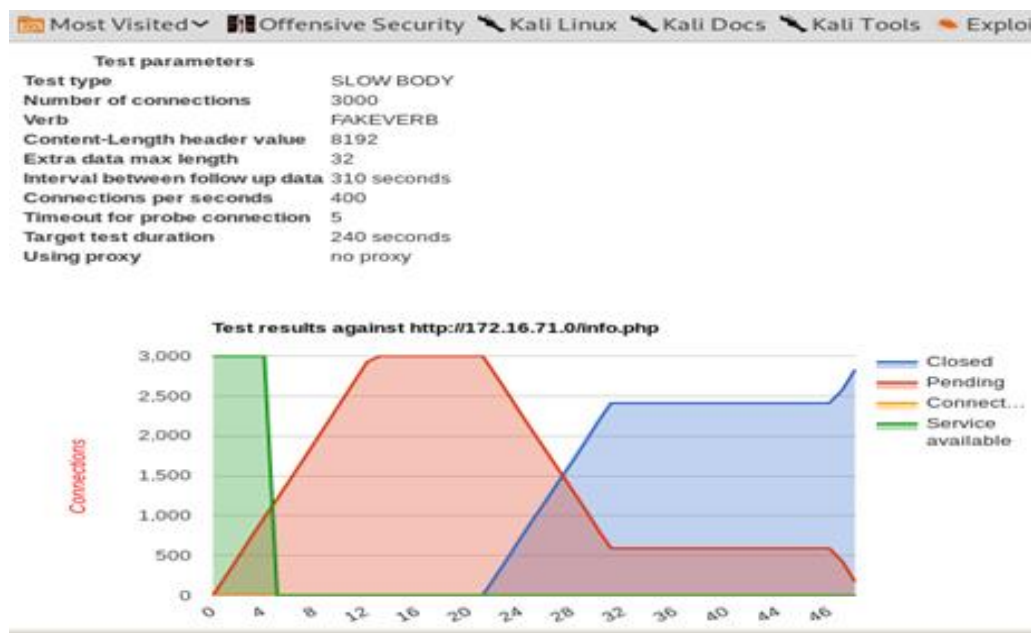


Рис. 6. График трафика dos атаки slow http post (Nginx, Windows)

Время недоступности сервиса уменьшается, что согласуется с приведенными в литературе данными, что серверы Nginx менее подвержены этому виду атак, чем серверы Apache [4]. В Wireshark можно увидеть отправку дополнительных пакетов после снижения количества подключений (рис. 7). Такое поведение оказалось характерно для серверов Nginx и для ОС Windows и Linux.

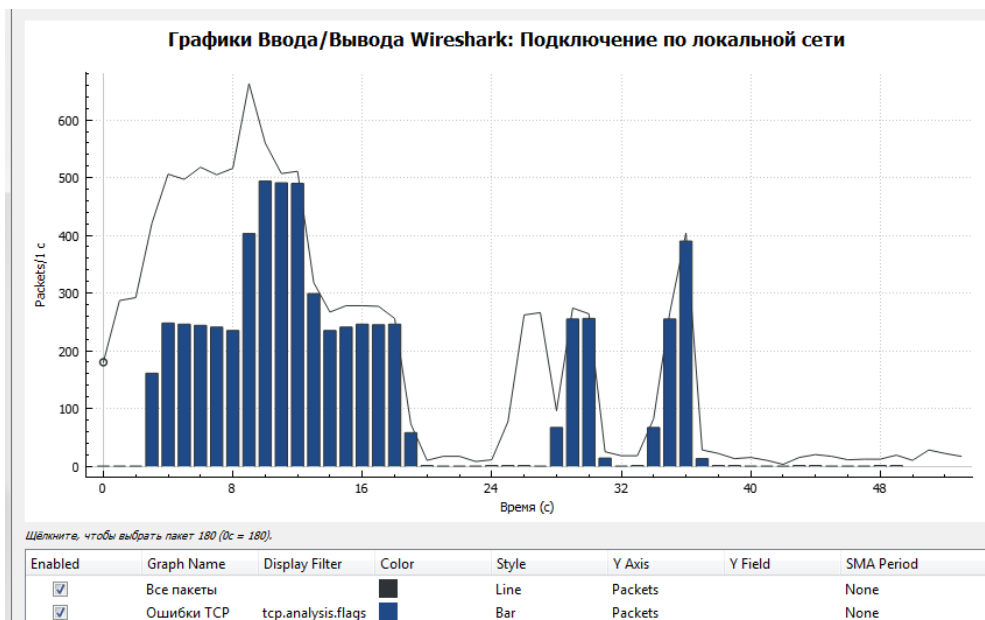


Рис. 7. Появление повторных пакетов tcp после снижения количества подключений (Nginx, Windows)

Защита серверов от медленных атак производилась посредством перенастройки конфигурационных файлов серверов и установки дополнительных модулей mod_security и mod_qos. На рисунке 8 представлен вид сетевого трафика, во время атаки slow http post, изменившийся в результате предпринятых мер защиты.

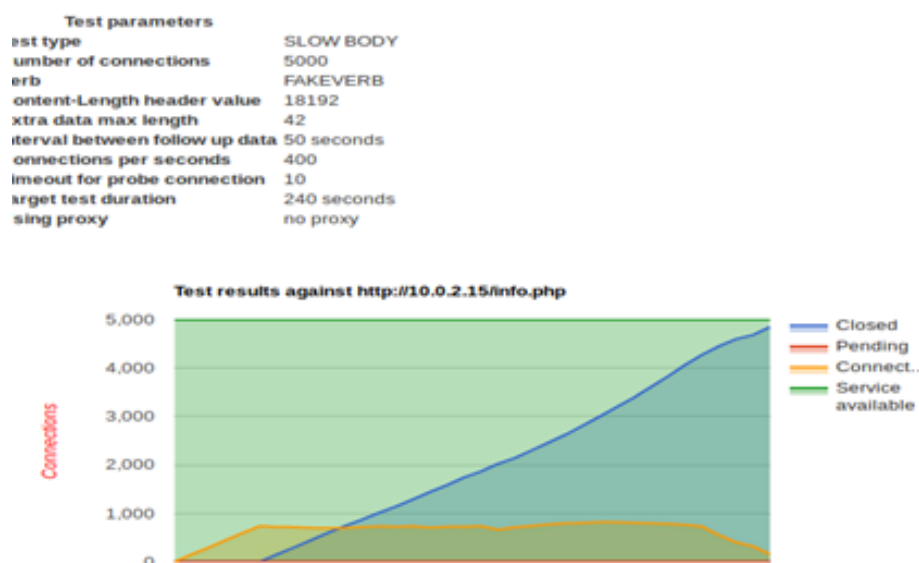


Рис. 8. График трафика dos атаки slow http post (Nginx, Windows) после предпринятых мер защиты

Тестирование сайтов. В процессе работы были проведены атаки на реальные сайты. Тестирование проводилось с одного компьютера в неагрессивном режиме, чтобы не нанести заметного ущерба серверам. В случае успешной атаки сайты становились недоступными для других клиентов максимум на 240 секунд, а затем их работоспособность восстанавливалась. Отсутствие доступа проверялось с удаленных хостов, не связанных с атакующим. На рисунке 9 представлен результат dos атаки Slow http test на сайт запрещенной в ДНР организации «Правый сектор».

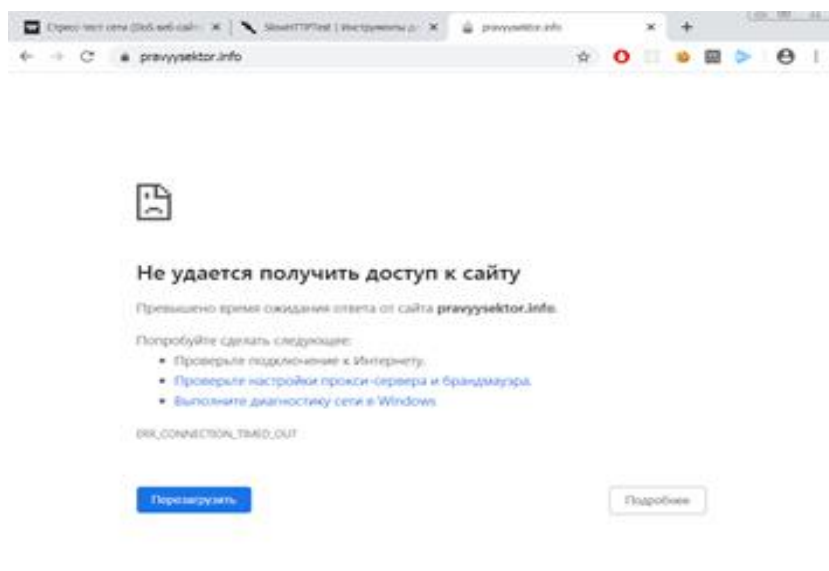


Рис. 9. Результат тестирования сайта «Правый сектор»

Был проведен анализ защищенности от медленных атак 42-х сайтов. Для тестирования были взяты по 14 сайтов Украины, ДНР и дальнего зарубежья (США, Великобритания, Франция). В основном сайты государственных учреждений, общественных организаций и учебных заведений. В ходе работы были получены данные о веб-серверах, на которых расположены данные сайты из ответов на Get-запросы, с подтверждением на ресурсе <https://www.netcraft.com/>. Конечно такие данные нельзя

считать полностью достоверными, но опыт показывает, что немногие администраторы изменяют этот заголовок HTTP-request в целях безопасности. Результаты исследования обобщены в диаграммах на рисунках 10 и 11.

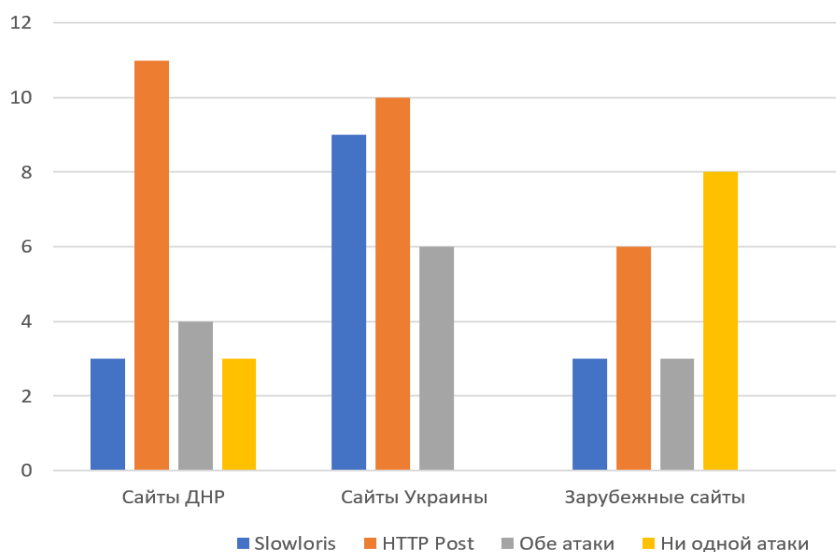


Рис. 10. Подверженность медленным атакам исследованных сайтов

Сайты ДНР оказались в значительной степени подвержены Slow HTTP Post атаке, в то время как не было ни одного, из протестированных сайтов Украины, устоявшего перед обеими атаками. Зарубежные сайты менее всего подвержены атакам, что может быть связано с относительной удаленностью серверов от источника атаки. Интересно, что официальный сайт Оксфорда оказался уязвимым к обеим атакам, а сайт Донецкого индустриального техникума устоял.

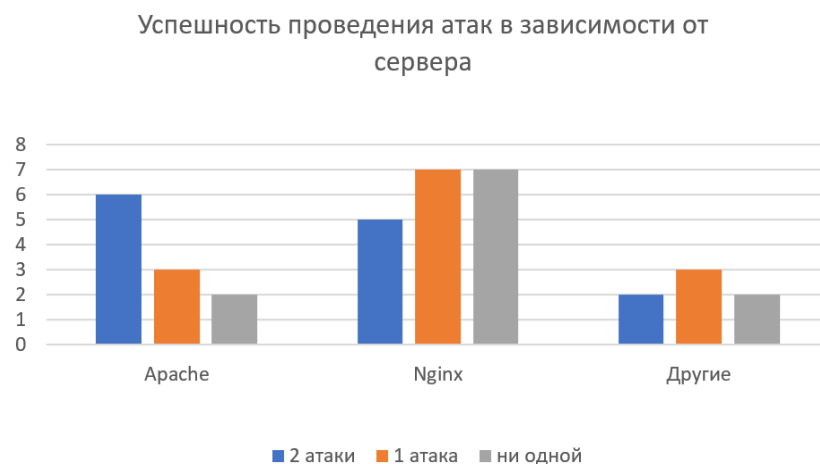


Рис. 11. Подверженность медленным атакам web –серверов

Из диаграммы на рисунке 11 видно, что серверы Apache более подвержены атаке Slowloris, в то время как серверы Nginx - атаке Slow HTTP Post. Интересно, что облачные серверы AmazonS3 и cloudflare также оказались подвержены медленным атакам Slow HTTP Post. 7 из 20-ти серверов Nginx не показали уязвимости ни к одной атаке. В большинстве, уязвимыми к атакам оказались серверы устаревших версий, которые давно не обновлялись.

Методы защиты. Защита от медленных атак может осуществляться еще на этапе конфигурирования и настройки сервера. Для этого необходимо: установить минимальную скорость передачи и отключать все более медленные соединения, установить максимальный таймаут запроса, например, ориентируясь на статистику реального использования, ограничить величину заголовков и тела запроса, увеличить максимальное количество соединений, установить лимиты по размеру запроса для определенного URL, отключать HTTP-соединения с методами запроса, невалидными для указанного URL.

Рекомендуется устанавливать дополнительные модули для защиты от Dos-атак, например `mod_security`, `mod_qos`, `mod_reqtimeout`, `mod_limitipconn`, `mod_evasive`, `mod_noloris`, `mod_antiloris` и др. [5] Другие методы включают настройку обратных прокси-серверов, брандмауэров, балансировщиков нагрузки или переключателей контента. Еще одним способом для устранения данной уязвимости является создание двухуровневой системы Front-End (Nginx) + Back-End (Apache) для обработки запросов. Для обнаружения медленных атак применяются нейросетевые подходы [6].

По результатам данного исследования разработана лабораторная работа для обучения студентов специальности 10.03.04 «Информационная безопасность» методам определения и защиты от медленных атак.

Выводы. 1) Необходимость защиты web-приложений от медленных атак все еще актуальна, поскольку как показало исследование, некоторое количество сайтов на сегодняшний день подвержены этой атаке. К данным атакам в основном уязвимы небольшие сайты государственных учреждений и общественных организаций, использующие серверы устаревших версий без своевременного обновления.

2) Реализация атаки очень проста, и практически не требует никаких вложений. Этот тип атак может быть организован с минимальным соотношением необходимой мощности канала атакующего компьютера (компьютеров) и атакуемого сервера.

3) Схожесть трафика атаки с легальным трафиком усложняет ее обнаружение. Обнаружить атаку на прикладном уровне можно при наличии результатов мониторинга системы в реальном времени. В этом случае можно обнаружить затянувшийся «простой» открытых соединений, характерные всплески tcp-трафика или длительный незавершенный процесс на прикладном стеке.

4) Дефолтная конфигурация серверов не предусматривает защиты от медленных атак, однако пользовательская настройка и подключение дополнительных модулей позволяет защитить сайт от подобных угроз, или смягчить их действие.

5) Необходимо обучать студентов диагностировать и предотвращать медленные атаки на уровень приложений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kuzmanovic A. Low-rate TCP-targeted denial of service attacks and counter strategies / A. Kuzmanovic, Edward W. Knightly // IEEE/ACM Transactions on Networking. – 2016. – № 14 (4). – С. 683-696.
2. Corporate networks security evaluation based on attack graphs / E.S. Abramov, A.V. Andreev, D.V. Mordvin, O. B. Makarevich // Proceedings of the 4th international conference on Security of information and networks (SIN '12)-ACM. – New York, 2012. – P. 29-36.
3. Slowloris DDoS Attack : [сайт]. – URL: <https://www.cloudflare.com/learning/ddos/ddos-attack-tools/slowloris/> (дата обращения: 12.02.2020). – Текст : электронный.
4. Милосердов А. В. Тестирование на проникновение с помощью Kali Linux / А. В. Милосердов. – Москва : Webware.biz, 2015. – 457 с.
5. Защита веб-сервера Apache от атаки медленного чтения, а так же некоторых других направленных атак. – URL: <https://habr.com/ru/post/145215/> (дата обращения: 12.02.2020). – Текст : электронный.

6. Абрамов Е. С. Применение комбинированного нейросетевого метода для обнаружения низкоинтенсивных DDoS-атак на web-сервисы / Е. С. Абрамов, Я. В. Тарасов. – Текст : электронный // Инженерный вестник Дона. – 2017. – № 3 (46). – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30753050> (дата обращения: 12.02.2020).

Поступила в редакцию 19.03.2020 г.

TESTING WEB APPLICATIONS FOR RESISTANCE TO LOW-INTENSITY DENIAL OF SERVICE ATTACKS

Babicheva M.V., Tzvelev E.O.

Two types of low-intensity Denial of service attacks for a test web application, at the level of the HTTP protocol, on Apache and Nginx servers running by Windows and Kali Linux operating systems are implemented. Methods for detecting such attacks are presented and characteristic features are given. It is shown that for effective counteraction it is necessary to know the type, nature and other indicators of a denial of service attack. Protection methods against such attacks are proposed. Laboratory work has been developed to teach students and system administrators to protect web servers from slow attacks at the application level.

Keywords: slow Dos attacks, Apache and Nginx servers, slowhttpstest, Slowloris, Slow HTTP POST.

Бабичева Маргарита Вадимовна

ст. преподаватель кафедры радиофизики 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.

Цвелев Евгений Олегович

студент кафедры радиофизики и инфокоммуникационных технологий ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», ДНР, Донецк.

Tzvelev Evgenii Olegovich

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

УДК 004.386

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ ОПТИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

© 2020 Данилов В.В., Тимченко В.И., Тимошенко Н.А., Третьяков И.А.

В настоящей работе рассмотрены физические основы функционирования элементной базы оптических информационных технологий, в частности, линз и зеркал. Эти элементы, совместно с пространством ограниченным параллельными плоскостями, могут образовывать линейные оптические системы, не искажающие форму входного сигнала, реализующие пространственное преобразование Фурье и т. п.

Ключевые слова: отражающая поверхность, параболическое зеркало, сферическое зеркало, сферическая волна, двояковыпуклые и двояковогнутые линзы, коэффициент пропускания, оптический клин, сопряжение оптических элементов

Введение. Линзы и зеркала как оптические элементы инвариантны относительно сдвигов в частотной области [1]. Они используются для модуляции падающих на них волн по пространственным координатам. Известно [2], что если поверхности линзы сферические, то при падающей плоской волне фаза преломленной волны изменяется по квадратичному закону, а пространственная частота, по линейному.

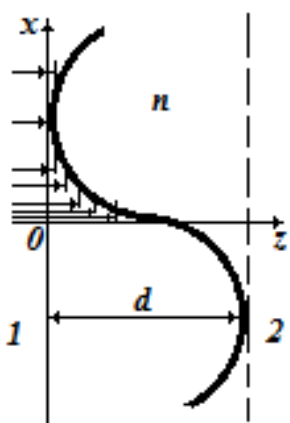


Рис. 1. Реальная поверхность раздела между двумя средами

Исследуем прохождение электромагнитных волн через неровную поверхность раздела. Пусть поверхность такова, что ее можно заключить между двумя плоскостями, расстояние между которыми d мало, так что справедливо приближение «тени» (рис. 1).

Предположим, что плоскости перпендикулярны к оси z . Падающие лучи параксиальные, углы с осью z - малы, поэтому $\cos \gamma \approx 1$, а $k_z = k \cos \gamma \approx k$. Далее, пусть поверхность раздела описывается функцией $z = \varphi(x, y)$, а поле падающей волны в плоскости $z = 0$ равно $U_{II}(x, y, z)$. Найдем поле в произвольной точке x, y, z , лежащей на искривленной поверхности раздела. В соответствии с приближением «тени» оно равно $U_n(x, y, 0) \exp(ikz)$, где $z = \varphi(x, y)$ [3].

Основная часть. Возникающие отраженная и преломленная волны обусловлены наличием поверхности раздела. Для отраженной волны, $\Gamma_{12}(x, y)$ - коэффициент отражения, тогда для амплитуды отраженной волны у границы раздела справедливо равенство:

$$U_0 = \Gamma_{12}(x, y) U_{II}(x, y, 0) \exp[ik\varphi(x, y)].$$

При однородной поверхности раздела, $\Gamma_{12} = const$, и не зависит от координат x и y . В частности, для идеально проводящей поверхности $\Gamma_{12}=1$ (или -1), в плоскости $z=0$ отраженная волна равна $U_0 = \Gamma_{12}(x, y)U_{II}(x, y)\exp(2ikz)$, где $z = \varphi(x, y)$ — расстояние от плоскости $z=0$ до поверхности раздела. Следовательно, $U_0(x, y, 0) = \Gamma_{12}(x, y)\exp[2ik\varphi(x, y)]U_{II}(x, y, 0)$.

Отражение волн от поверхности. Введем коэффициент отражения в плоскости $z=0$:

$$\Gamma(x, y) = \Gamma_{12}(x, y)\exp[2ik\varphi(x, y)], \quad (1)$$

и назовем ее приведенным коэффициентом отражения [4]. Тогда:

$$U_0(x, y, 0) = \Gamma(x, y)U_{II}(x, y, 0). \quad (2)$$

Математические соотношения (1) и (2) показывают, что отражение от искривленной поверхности при определенных условиях может быть заменено отражением от плоскости $z=0$. Пусть угол между нормалью к поверхности раздела и осью z мал (поверхность искривлена незначительно). Тогда, появляется возможность определять $\Gamma_{12}(x, y)$ так же, как при отражении от плоскости. Таким образом, поверхность раздела заменена очень большим числом весьма малых плоских элементов, перпендикулярных к оси z (рис. 1), а падающая волна - большим числом тонких трубок, являющихся элементарными плоскими волнами.

Параболическое зеркало. Найдем коэффициент отражения тонкой зеркальной поверхности, показанной на рис. 2.

Пусть расстояние d мало а зеркало идеально отражающее. Тогда, $\Gamma_{12}=1$. Считаем Γ_{12} величиной постоянной, не являющейся функцией координат, а поверхность зеркала, представляет параболический цилиндр, ось которого совпадает с осью y . Тогда, приведенный коэффициент отражения зависит только от одной координаты x . Уравнение параболы, изображенной на рис. 2, представим в виде $z - d = -x^2 / (2R)$, где

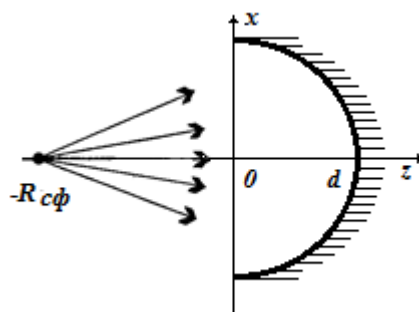


Рис. 2. Падение сферической волны на параболическую зеркальную поверхность

R - радиус кривизны в точке $x=0, z=d$. Тогда $z = d - x^2 / (2R)$, и приведенный коэффициент отражения будет равен:

$$\Gamma = \exp 2ik[d - x^2 / (2R)], \quad (3)$$

а для отраженной волны получаем $U_0 = \exp(2ikd)\exp(-ik \frac{x^2}{R})U_{II}$. Величина $\exp(2ikd)$ от координаты x не зависит, поэтому ее можно заменить постоянным коэффициентом a . Таким образом:

$$U_0 = a \exp(-ik \frac{x^2}{R})U_{II}. \quad (4)$$

Полученная математическая модель показывает, что зеркало по отношению к падающей на него волне является модулятором фазы падающей волны по квадратичному закону: $\psi = k \frac{x^2}{R}$, в то время как пространственной частоты

$$\omega_1 = \frac{d\psi}{dx} = \frac{2k}{R} x \text{ по линейному закону.}$$

Рассмотрим зеркало, образующие поверхности которого изменяются по параболическому закону, как в направлении оси x , так и в направлении оси y с радиусами кривизны на оси z , равными соответственно R_1 и R_2 , тогда приведенный коэффициент отражения равен:

$$\Gamma(x, y) = a \exp\left[-ik \left(\frac{x^2}{R_1} + \frac{y^2}{R_2} \right)\right]. \quad (5)$$

В случае зеркала с одинаковыми радиусами кривизны R , приведенный коэффициент отражения:

$$\Gamma(x, y) = a \exp\left[-ik \frac{x^2 + y^2}{R}\right] = a \exp\left(-ik \frac{\rho^2}{R}\right). \quad (6)$$

Составим математическое описание процесса преобразования параболическим зеркалом падающей на него *сферической волны*. Пусть точечный источник сферической волны находится на оси z в точке $z = -R_{сф}$ (рис. 2). Уравнение

сферической волны имеет вид $U_{II} = \frac{\exp ik \sqrt{x^2 + y^2 + (z + R_{сф})^2}}{\sqrt{x^2 + y^2 + (z + R_{сф})^2}}$. В плоскости $z = 0$

амплитуда поля равна $U_{II} = \frac{\exp ik \sqrt{x^2 + y^2 + R_{сф}^2}}{\sqrt{x^2 + y^2 + R_{сф}^2}}$. Параксиальное приближение

позволяет предположить, что x и y малы по сравнению с $R_{сф}$, поэтому

$\sqrt{x^2 + y^2 + R_{сф}^2} \approx R_{сф} + \frac{x^2 + y^2}{2R_{сф}}$, тогда амплитуда поля равна

$U_{II} \approx \frac{\exp(ikR_{сф})}{R_{сф}} \exp\left(ik \frac{x^2 + y^2}{2R_{сф}}\right) = be \exp\left(ik \frac{x^2 + y^2}{2R_{сф}}\right)$. Таким образом, получена

приближенная математическая модель амплитуды поля падающей на параболическое зеркало электромагнитной волны.

Исследуем процесс отражения и создадим его математическое описание и математическую модель.

Воспользовавшись (6), получаем $U_0 = ab \exp\left[ik \frac{x^2 + y^2}{2R_{сф}} \left(\frac{1}{R_{сф}} - \frac{2}{R} \right)\right]$. Обозначим:

$$\frac{1}{R'_{сф}} = \frac{1}{R_{сф}} - \frac{2}{R}, \quad (7)$$

тогда

$$U_0 = ab \exp\left(ik \frac{x^2 + y^2}{2R'_{сф}}\right). \quad (8)$$

Полученное выражение является парааксиальным приближением для сферической волны радиуса $R'_{сф}$, определяемого формулой (7). Следовательно, параболическое зеркало преобразует сферическую волну одного радиуса в сферическую волну другого радиуса. Если радиус падающей сферической волны равен половине радиуса зеркала, то радиус отраженной волны получается бесконечным, следовательно, отраженная волна - плоская (рис. 3а). Величина, равная половине радиуса зеркала, называется фокусным расстоянием $f = R/2$. В этом случае, приведенный коэффициент отражения

равен $\Gamma(x, y) = a \exp(-ik \frac{\rho^2}{2f})$, и вместо (7), получим:

$$\frac{1}{R'_{сф}} = \frac{1}{R_{сф}} - \frac{1}{f}. \quad (9)$$

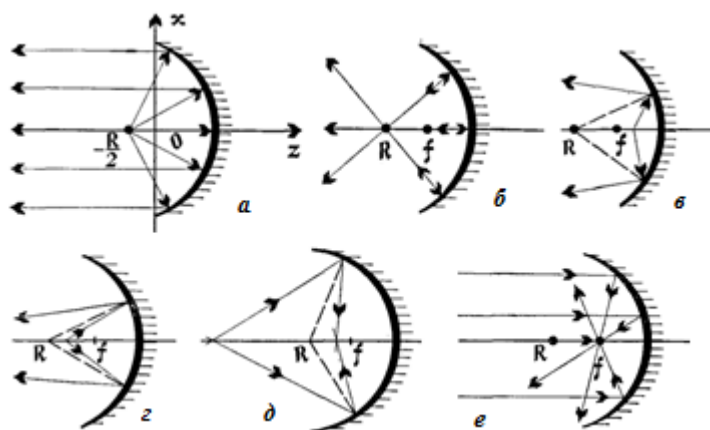


Рис. 3. Отражение сферической волны от параболического зеркала:

- а) $R_{сф} = f$; б) $R_{сф} = 2f$; в) $R_{сф} < f$; г) $f < R_{сф} < 2f$; д) $R_{сф} > 2f$; е) $R_{сф} = \infty$

Исследуем несколько вариантов отражения сферических волн от параболического зеркала:

- радиус падающей волны равен радиусу зеркала: $R_{сф} = R$. В соответствии с (7)

находим как $R'_{сф} = -R$, тогда получается что радиусы падающей и отраженной волн одинаковы, но если падающая волна - расходящаяся, то отраженная будет сходящейся и наоборот (рис. 3б);

- случай, когда радиус падающей волны меньше фокусного расстояния зеркала: $R_{сф} < f$. Тогда, следуя (9), $R'_{сф} > 0$. Это означает, что падающая и отраженная волны либо сходящиеся, либо расходящиеся (рис. 3в);

- радиус падающей волны больше фокусного расстояния: $R_{сф} > f$. В этом случае $R_{сф} < 0$. Следовательно, если падающая волна расходящаяся, то отраженная сходящаяся и наоборот. На рис. 3з,д показан ход лучей для двух случаев: $R_{сф} < 2f$, $R'_{сф} > 2f$ и $R_{сф} > 2f$, $R'_{сф} < 2f$.

- если радиус падающей волны равен бесконечности (падающая волна — плоская), то $R'_{сф} = -f$, т. е. отраженная волна сферическая с радиусом волнового фронта, равным фокусному расстоянию зеркала (рис. 3е).

Рассмотрим особенности использования сферических зеркал. Используя принятое приближение, покажем, что зеркало радиуса R , равного радиусу кривизны параболического зеркала, равноценно параболическому. Уравнение сферы с центром в начале координат имеет вид $x^2 + y^2 + z^2 = R^2$. Переместив центр на $(R-d)$ вдоль оси z (рис. 4), уравнение сферы примет вид $x^2 + y^2 + (z + R - d)^2 = R^2$ или:

$$x^2 + y^2 + 2R(z - d) + (z - d)^2 = 0.$$

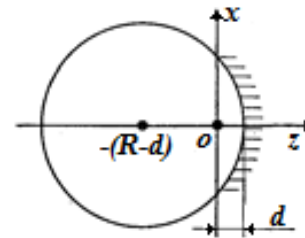


Рис. 4. Сферическое зеркало.

Пренебрегая членом $(z - d)^2$, приближенно получаем $z - d \approx -\frac{x^2 + y^2}{2R}$, а коэффициент отражения $\Gamma(x, y) = \exp(2ikd) \exp(-ik \frac{x^2 + y^2}{R})$. Сравнивая с (5), получили полное совпадение. Возможные варианты, например, если радиусы зеркала в плоскостях xoy и yoz различны, тогда $\Gamma(x, y) = \exp(2ikd) \exp[-ik \left(\frac{x^2}{R} + \frac{y^2}{R} \right)]$.

Линзы. Как известно [2], на границе раздела двух сред, возникает преломленная волна. Свое рассмотрение ограничим слабо искривленной поверхностью и параксиальным приближением. Пусть в плоскости $z = 0$ падающая волна описывается функцией $U_n(x, y, 0)$, тогда согласно приближению «тени» она на искривленной поверхности будет равна $U_n(x, y, 0) \exp(ikz)$, где $z = \varphi(x, y)$ — уравнение искривленной поверхности.

Предположив, что коэффициент пропускания границы раздела равен $T_{12}(x, y)$, тогда для преломленной волны у границы раздела получим изменение поля в виде $U_n(x, y, 0) \exp[ik\varphi(x, y)] T_{12}(x, y)$, а для преломленной волны в плоскости $z = d$, амплитуда поля будет $U_{np}(x, y, d) = U_n(x, y, 0) \exp[ik\varphi(x, y)] T_{12}(x, y) \exp[ikn(d - z)]$.

Выражение учитывает, что волна проходит расстояние $d - z = d - \varphi(x, y)$ в веществе с показателем преломления n . Следовательно:

$$U_{np}(x, y, d) = \exp(iknd) T_{12}(x, y) \exp[-ik(n-1)\varphi(x, y)] U_n(x, y, 0).$$

Примем, что $z_1 = \varphi_1(x, y)$ и $z_2 = \varphi_2(x, y)$ - уравнения поверхностей линзы (рис. 5а). Амплитуда поля преломленной волны в плоскости $z = d_1$, равна:

$$U_{np}(x, y, d_1) = \exp(iknd_1) T_{12}(x, y) U_n(x, y, 0) \exp[-ik(n-1)\varphi_1(x, y)].$$

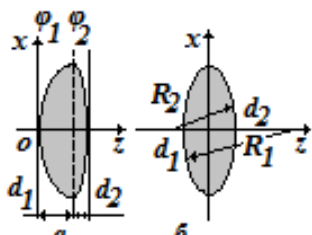


Рис. 5. Линза:
а) с произвольными поверхностями; б) ограниченная двумя сферическими поверхностями радиусов R_1, R_2

Найдем тоже в плоскости $z = d_1 + d_2$. С учетом того, что волна пробегает расстояние $z - d_1$ в веществе линзы, а расстояние $d_1 + d_2 - z$, в воздухе, получим:

$$U_{np}(x, y, d_1 + d_2) = \exp(ikn(d_1 + d_2)) T_{12}(x, y) T_{21}(x, y) \cdot \exp[-ik(n-1)(z_1 - z_2)] \exp[ik(d_1 + d_2)] U_n(x, y, 0).$$

Откуда коэффициент пропускания линзы равен:

$$T(x, y) = T_{12}(x, y) T_{21}(x, y) \exp[-ik(n-1)(z_1 - z_2)] \exp[ik(d_1 + d_2)].$$

Линза, как правило, делается из однородного материала, прозрачного а определенном диапазоне длин волн, поэтому коэффициенты T_{12} и T_{21} не зависят от координат x и y а по величине близки к единице. Таким образом:

$$T(x, y) = a_1 \exp\{-ik(n-1)[\varphi_1(x, y) + \varphi_2(x, y)]\}, \quad (10)$$

где a_1 - коэффициент, не зависящей от x и y . Наиболее широкое применение получили параболические (сферические) линзы. Они образованы двумя параболическими (сферическими) поверхностями (рис. 5б):

$$z_1 = \frac{x^2 + y^2}{2R_1} - d_1, z_2 = -\frac{x^2 + y^2}{2R_2} + d_2.$$

Анализируя (10), коэффициент пропускания для них будет:

$$T(x, y) = a \exp[-ik(n-1) \frac{x^2 + y^2}{2} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)], \quad (11)$$

где a коэффициент пропорциональности. При $R_1 > 0$ и $R_2 > 0$ будем иметь двояковыпуклую линзу, а при $R_1 < 0$ и $R_2 < 0$, двояковогнутую; если же один из радиусов положителен, а другой отрицателен, получаем мениск.

Введем обозначение:

$$\frac{1}{f} = (n-1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right), \quad (12)$$

где f - фокусное расстояние. При показателе преломления материала линзы больше единицы, для двояковыпуклой линзы фокусное расстояние положительно, а для двояковогнутой - отрицательно. Если не учитывать aberrации, линза характеризуется только одним параметром, фокусным расстоянием, с помощью которого коэффициент пропускания линзы определяется выражением:

$$T(x, y) = a \exp(-ik \frac{x^2 + y^2}{2f}). \quad (13)$$

При падении на линзу электромагнитной волны, амплитудой $U_1(x, y)$, на выходе линзы получаем:

$$U_2(x, y) = a \exp(-ik \frac{x^2 + y^2}{2f}) U_1(x, y), \quad (14)$$

Из выражения видно, линза модулирует падающую на нее волну по фазе (или частоте), причем закон изменения пространственной частоты линейный [3]. Если падающая волна – сферическая, с радиусом волнового фронта $R_{сф}$, амплитуда которой

$U_1(x, y) = b \exp(-ik \frac{x^2 + y^2}{2R_{сф}})$, то прошедшая сквозь линзу волна также будет

сферической и амплитудой $U_2 = ba \exp[-ik \frac{x^2 + y^2}{2} (\frac{1}{R_{сф}} - \frac{1}{f})]$, но с другим

радиусом волнового фронта. Новый радиус волнового фронта $R'_{сф}$ определяется из формулы $\frac{1}{R'_{сф}} = \frac{1}{R_{сф}} - \frac{1}{f}$. Линзу можно рассматривать как оптический элемент,

преобразующий сферическую волну одного радиуса в сферическую волну другого радиуса. В частном случае, когда на линзу падает плоская волна $R_{сф} = \infty$, на выходе

линзы имеем сходящуюся сферическую волну радиуса $R'_{сф} = -f$. Если же на линзу падает сферическая волна с радиусом, равным фокусному расстоянию линзы, то на выходе получаем плоскую волну ($R'_{сф} = \infty$).

Согласование оптических элементов. Используя радиоэлектронные аналогии в оптических информационных технологиях, можно утверждать, что аналогом линзы является линейная электрическая цепь с изменяющимися во времени параметрами, а линза как модулятор обладает свойством преобразовывать пространственный спектр входного сигнала.

Пусть функция, описывающая входной сигнал равна $U_1(x, y)$, соответственно,

спектральная плотность его: $G(\omega_1, \omega_2) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} U_1(x, y) \exp(-i(\omega_1 x + \omega_2 y)) dx dy$. На

выходе линзы, амплитуда поля сигнала определяется в виде:

$$U_2(x, y) = T(x, y)U_1(x, y) = \exp(-ik \frac{x^2 + y^2}{2f}) U_1(x, y).$$

Спектральная плотность выходного сигнала равна:

$$G_2(\omega_1, \omega_2) = \int_{-\infty - \infty}^{\infty} \int_{-\infty - \infty}^{\infty} T(x, y) U_1(x, y) \exp(-i(\omega_1 x + \omega_2 y)) dx dy. \quad (15)$$

Введя обозначения:

$$H(\omega_1, \omega_2) = \int_{-\infty - \infty}^{\infty} \int_{-\infty - \infty}^{\infty} T(x, y) \exp(-i(\omega_1 x + \omega_2 y)) dx dy, \quad (16)$$

получим $G_2(\omega_1, \omega_2) = \frac{1}{4\pi^2} \int_{-\infty - \infty}^{\infty} \int_{-\infty - \infty}^{\infty} G_1(\xi, \eta) H(\omega_1 - \xi, \omega_2 - \eta) d\xi d\eta$, т. е. *спектральная*

плотность выходного сигнала пропорциональна свертке спектральной плотности входного сигнала и частотной характеристики линзы $H(\omega_1, \omega_2)$.

При определении коэффициента пропускания линзы в форме (13), ее частотная характеристика, найденная из выражения (16), будет иметь вид:

$$H(\omega_1, \omega_2) = a \exp(ik \frac{\omega_1^2 + \omega_2^2}{2k}), \quad (17)$$

где постоянная a , не зависит от частот ω_1 и ω_2 .

Итак, свойства линзы можно описать одной из двух функций: коэффициентом пропускания - выражение (13) или частотной характеристикой, выражение (17). Частотная характеристика линзы, есть преобразование Фурье от коэффициента пропускания. Частотная характеристика является согласованной (сопряженной) по отношению к коэффициенту пропускания.

Сравним свойства линзы со свойствами пространства ограниченного параллельными плоскостями, ширина которого d . Такая геометрия пространства, по своим свойствам - фильтр пространственных частот с коэффициентом передачи, пропорциональным (в приближении Френеля):

$$K(\omega_1, \omega_2) = \exp(id \frac{\omega_1^2 + \omega_2^2}{2k}). \quad (18)$$

Импульсная характеристика пространства между двумя параллельными плоскостями пропорциональна:

$$h(\omega_1, \omega_2) = e(ik \frac{x^2 + y^2}{2d}). \quad (19)$$

Приведенные характеристики переходят одна в другую, если применить к ним преобразования Фурье, т.е., они являются сопряженными. Более того, они оказываются сопряженными и к соответствующим характеристикам линзы. Действительно, коэффициент передачи пространства ограниченного двумя параллельными

плоскостями (слоя пространства) и коэффициент пропускания линзы при $f = d$ связаны между собой преобразованием Фурье. Далее, тоже можно утверждать, что и импульсная характеристика пространства, ограниченного двумя параллельными плоскостями и частотная характеристика линзы, также имеют такую связь. Отсюда следует, что линза и пространство ограниченное двумя параллельными плоскостями являются сопряженными оптическими элементами. Важным является то обстоятельство, что линза и пространство ограниченное двумя параллельными плоскостями определяются только одним параметром, фокусным расстоянием f и шириной слоя d .

Используя принцип радиоэлектронных аналогий в оптических информационных технологиях, напрашивается сравнение с электрическими цепями. Сделаем допущение, что цепь состоит только из реактивных элементов. Известные методы синтеза [5, 6], предполагают, что такие цепи содержат элементы только двух видов, сопротивление которых либо пропорционально частоте (катушки индуктивности), либо обратно пропорционально ей (конденсаторы). Линия передачи в оптическом приборостроении содержит только линзы и ограниченные параллельными плоскостями пространства, т.е. также содержит элементы двух видов, и эти элементы также сопряжены.

В таблице, представлены функции, описывающие свойства линзы и слоя пространства, необходимые для реализации сопряжения оптических элементов.

Оптический клин. Изменение направления распространения света достигается использованием наклонного зеркала и призм (оптический клин).

Таблица 1. Характеристики линзы и слоя пространства

Оптический элемент	Коэффициент пропускания T и коэффициент передачи K	Частотная характеристика H и импульсная характеристика h	Связь между входным U_1 и выходным U_2 сигналами	Связь между спектрами входного G_1 и выходного G_2 сигналов
Линза	$T(x, y) = ae^{-ik \frac{x^2 + y^2}{2f}}$	$H = ae^{if \frac{\omega_1^2 + \omega_2^2}{2k}}$	$U_2 = e^{ik \frac{x^2 + y^2}{2f}} \cdot U_1(x, y)$	$G_2 = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} G_1(\xi, \eta) e^{if \frac{(\omega_1 - \xi)^2 + (\omega_2 - \eta)^2}{2k}} d\xi d\eta$
Ограниченное пространство	$K(\omega_1, \omega_2) = e^{id \frac{\omega_1^2 + \omega_2^2}{2k}}$	$h = e^{ik \frac{x^2 + y^2}{2d}}$	$U_2 = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} U_1(\xi, \eta) \cdot e^{ik \frac{(\omega_1 - \xi)^2 + (\omega_2 - \eta)^2}{2d}} d\xi d\eta$	$G_2 = e^{-id \frac{\omega_1^2 + \omega_2^2}{2l}} G_1(\omega_1, \omega_2)$

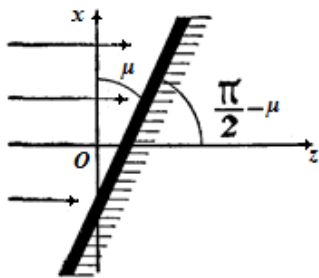


Рис. 6. Падение волны на наклонное плоское зеркало

Математическое описание этих представителей элементной базы оптических информационных технологий создается на основе коэффициента отражения $\Gamma(x, y)$ и коэффициента пропускания $T(x, y)$. Рассмотрим параксиальное приближение распространения электромагнитных волн. На рис. 6 показана геометрия взаимодействия, μ - малый угол между поверхностью раздела двух сред и плоскостью xOy .

Рассмотрим вариант наклонного зеркала. Коэффициент отражения $\Gamma(x, y)$, относительно плоскости xoy , находится в соответствии (1), в которой $z = \varphi(x, y)$ - уравнение поверхности раздела.

Так как поверхность плоская и параллельная оси y , поэтому $x = -a + ztg\left(\frac{\pi}{2} - \mu\right)$,

где a - отрезок, отсекаемый плоскостью раздела на оси x . Отсюда находим $z = \varphi = xtg\mu + a\mu$. При малых углах $tg\mu \approx \mu$, то $\varphi \approx x\mu + a\mu$. Воспользовавшись (1), получаем $\Gamma(x, y) = \Gamma_{12}(x, y)\exp(2ik\mu x)\exp(2ik\mu a)$. На однородной границе раздела $\Gamma_{12} = const$. Тогда, опуская множители, не зависящие от координат, коэффициент отражения равен:

$$\Gamma(x, y) = \exp(2ik\mu x). \quad (20)$$

Выражение (20) показывает, что наклонное плоское зеркало модулирует падающую на него волну по гармоническому закону, причем пространственная частота модуляции равна $2k\mu$.

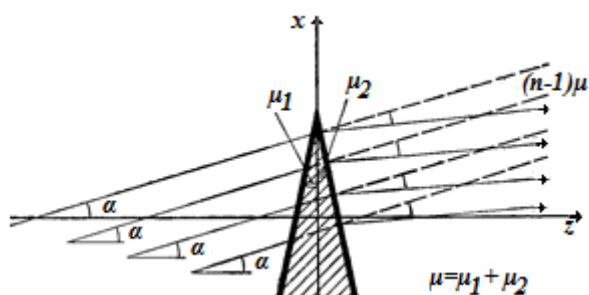


Рис. 7. Отклонение волны оптическим клином

Рассмотрим особенности взаимодействия электромагнитных волн при падении на оптический клин (рис. 7). Пусть боковые поверхности клина параллельны оси y , а угол при вершине равен μ . Уравнения плоскостей, образующих поверхности клина, имеют вид:

$$z = \varphi_1 = xtg\mu_1 + a_1\mu_1;$$

$$z = \varphi_2 = -xtg\mu_2 + a_2\mu_2.$$

Считая углы μ_1 и μ_2 малыми и опуская члены, не зависящие от координат, по формуле (10) находим $T(x, y) = \exp(-ik(n-1)(\mu_1 + \mu_2)x)$ или:

$$T(x, y) = \exp(-ik(n-1)\mu x). \quad (21)$$

Таким образом, оптический клин (призма) модулирует по гармоническому закону падающую на него волну, причем пространственная частота модуляции равна $k(n-1)\mu$.

Существует вариант, когда слева от оптического клина под углом α к оси z распространяется плоская волна амплитудой $U_1 = \exp(ik\alpha x)$. Справа от клина получим волну с амплитудой $U_1 = \exp\{ik[\alpha - (n-1)\mu]x\}$. Это также плоская волна, однако, наклоненная к оси z под углом $\alpha - (n-1)\mu$. (рис. 7). Таким образом, клин изменяет направление распространения волны на угол, равный $(n-1)\mu$, причем отклоняет волну в сторону своей широкой части.

Выводы. Рассмотрены физические основы функционирования элементной базы оптических информационных технологий, в частности, линз и зеркал:

- получены математические соотношения (1),(2) показывающие, что отражение от искривленной поверхности при определенных условиях может быть заменено отражением от плоскости;

- параболическое зеркало преобразует сферическую волну одного радиуса в сферическую волну другого радиуса. Если радиус падающей сферической волны равен половине радиуса зеркала, то радиус отраженной волны получается бесконечным, т.е., отраженная волна - плоская (рис. 3а);

- показано, что зеркало радиуса R , равного радиусу кривизны параболического зеркала, равноценно параболическому;

- показано, что линзу можно рассматривать как оптический элемент, преобразующий сферическую волну одного радиуса в сферическую волну другого радиуса. В частном случае, когда на линзу падает плоская волна, на выходе ее имеем сходящуюся сферическую волну. Если же на линзу падает сферическая волна с радиусом, равным фокусному расстоянию линзы, то на выходе получаем плоскую волну.

- предложена процедура согласования (сопряжения) оптических элементов. Используя принцип радиоэлектронных аналогий в оптических информационных технологиях, предлагается сравнение с электрическими цепями, содержащими только реактивные элементы. Основываясь на методах синтеза [5, 6], предполагается, что такие цепи содержат элементы только двух видов, сопротивление которых либо пропорционально частоте (катушки индуктивности), либо обратно пропорционально ей (конденсаторы). Линия передачи в оптическом приборостроении содержит только линзы и ограниченные параллельными плоскостями пространства, т.е. также содержит элементы двух видов, и эти элементы также сопряжены;

- изменение направления распространения света достигается использованием наклонного зеркала и призм (оптический клин). Клин изменяет направление распространения волны на определенный угол, причем отклоняет волну в сторону своей широкой части.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Данилов В. В. Основы элементной базы оптических информационных технологий / В. В. Данилов, Н. А. Тимошенко, И. А. Третьяков // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г. Технические науки. – 2020. – №1. – С. 46-58.
2. Борн М. Основы оптики / М. Борн, Э. Вольф ; перевод с английского С. Н. Бреуса [и др.] ; под редакцией Г. П. Мотулевич. – Москва : Наука, 1970. – 855 с.
3. Гмыря В. А. Оптические информационные технологии. Импульсная характеристика / В. А. Гмыря, В. В. Данилов // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. – 2018. – № 4. – С. 23-35.
4. Литвиненко О. Н. Основы радиооптики / О. Н. Литвиненко. – Киев : Техника, 1974 – 208 с.
5. Справочник по теоретическим основам радиоэлектроники : в 2 т. / Барыбин А. А., Вендик О. Г., Горин Ю. Н. [и др.] ; под редакцией Б. Х. Кривицкого, В. Н. Дулина. – Москва : Энергия, 1977. – Т. 2 / Богданов А. Ф., Васин В. В., Ильин В. А. [и др.]. – 471 с.
6. Справочник по теоретическим основам радиоэлектроники : в 2 т. / Барыбин А. А., Вендик О. Г., Горин Ю. Н. [и др.] ; под редакцией Б. Х. Кривицкого, В. Н. Дулина. – Москва : Энергия, 1977. – Т. 1. – 504 с.

Поступила в редакцию 24.04.2020 г.

PHYSICAL BASES OF FUNCTIONING OF THE ELEMENT BASE
OF OPTICAL INFORMATION TECHNOLOGIES

Danilov V.V., Timchenko V.I., Timoshenko N.A., Tretiakov I.A.

In this paper, we consider the physical basis for the functioning of the element base of optical information technologies, in particular, lenses and mirrors. These elements, together with the space bounded by parallel planes, can form linear optical systems that do not distort the shape of the input signal, implement the spatial Fourier transform, and so on.

Keywords: reflecting surface, parabolic mirror, spherical mirror, spherical wave, biconvex and biconvex lenses, transmission coefficient, optical wedge, coupling of optical elements.

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.

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.

Тимошенко Нина Александровна

кандидат юридических наук, доцент, доцент кафедры уголовного права и процесса ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», ДНР, г. Донецк.
E-mail: n.timowenko@gmail.com

Timoshenko Nina Aleksandrovna

Candidate of Laws, Docent, Associate Professor at Department of of Criminal Law and Procedure 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.

УДК 004.62

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ АНАЛИЗА СВОЙСТВ КРИПТОГРАФИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ

© 2020 Кожекина Е.Н., Богатова М.В.

В данной работе объединены исследования в области нескольких разделов криптографии. Разработан программный комплекс на языке Python3, включающий в себя реализацию алгоритмов симметричного и ассиметричного шифрования, основных алгоритмов безопасной передачи ключа, а также цифровой подписи.

Ключевые слова: методы шифрования, алгоритм шифрования, криптографический протокол, python.

Введение. Условия жизни в информационной эре сделали информацию одним из самых ценных ресурсов, требующего особой защиты. Соответственно информационная безопасность становится всё более востребованной дисциплиной, одним из самых важных разделов которой является криптография. Сама криптография в свою очередь также делится на большое количество разделов, среди которых симметричное и ассиметричное шифрование, а также цифровая подпись. Им посвящено большое количество работ, однако все они описывают только какой-то один раздел или части одного раздела в отдельности.

Постановка задачи. Проведение исследований криптографических алгоритмов и их свойств с помощью разработанного программного комплекса.

Алгоритм шифрования DES. Общая схема процесса шифрования DES заключается в следующем:

На вход функции шифрования подаётся два типа данных – открытый текст, который требуется зашифровать, и ключ. В данном случае длина открытого текста предполагается равной 64 битам, а длина ключа – 56 битам.

Процесс преобразования открытого текста состоит из трёх этапов. Сначала 64-битный блок открытого текста поступает для обработки на вход начальной перестановки (IP), в результате чего получают переставленные входные данные. Затем следует этап, состоящий из 16 раундов применения одной и той же функции, в которой используются операции перестановки и подстановки. На выходе последнего (16-го) раунда получается 64-битная последовательность, являющаяся некоторой функцией открытого текста и ключа. Левая и правая половины полученной последовательности данных меняются местами, образуя предрезультат. Наконец, этот предрезультат проходит через перестановку IP^{-1} , обратную начальной, в результате чего получается 64-битный блок шифрованного текста [1].

Структура алгоритма DES показана на рисунке 1. После первоначальной перестановки IP выполняется шифрование, состоящее из 16 итераций. Результат i -й итерации описывается следующими формулами:

$$\begin{aligned}L(i) &= R(i - 1), \\R(i) &= L(i - 1) \wedge f(R(i - 1), K(i)).\end{aligned}$$

Функция f называется функцией шифрования. Её аргументы – это 32-битная последовательность $R(i - 1)$, полученная на $(i - 1)$ -й итерации, и 48-битный ключ $K(i)$, который является результатом преобразования 64-битного ключа K . На 16-й итерации получают последовательности $R(16)$ и $L(16)$, которые дополнительно меняются местами

и конкатенируют в результирующую 64-битную последовательность $R(16)L(16)$. Затем позиции бит этой последовательности переставляют в соответствии с матрицей IP^{-1} .

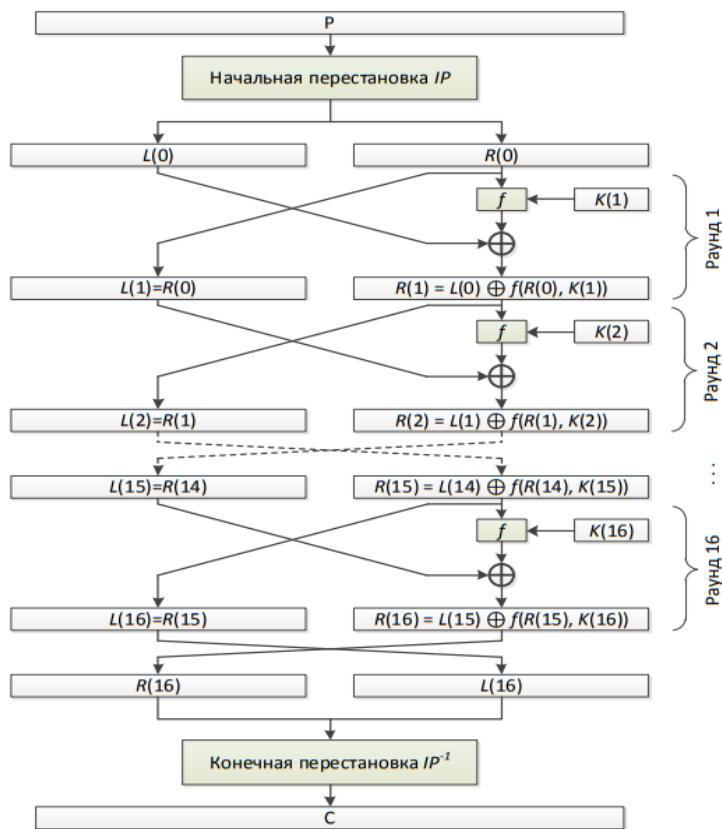


Рис. 1. Структура алгоритма шифрования DES

Алгоритм шифрования ГОСТ 28147-89. Алгоритм построен по тому же принципу, что и DES: это классический блочный шифр с секретным ключом. Однако он отличается от алгоритма DES большей длиной ключа (256 бит), большим количеством раундов (32), длиной ключа для одного раунда (32 бита) и более простой схемой построения самих раундов [2].

Порядок шифрования выглядит следующим образом. Открытый текст разбивается на 64-битные блоки. Каждый блок разбивается на две половины (младшие биты — А, старшие биты — В). На i -ом цикле используется подключ K_i :

$$\begin{aligned} A_{i+1} &= B_i \oplus f(A_i, K_i) \\ B_{i+1} &= A_i \end{aligned}$$

Ключи $K_9 \dots K_{24}$ являются циклическим повторением ключей $K_1 \dots K_8$ (нумеруются от младших битов к старшим). Ключи $K_{25} \dots K_{32}$ являются ключами $K_8 \dots K_1$. После выполнения всех 32 раундов алгоритма, блоки A_{33} и B_{33} склеиваются (обратите внимание, что старшим блоком становится A_{33} , а младшим — B_{33}) — результат есть результат работы алгоритма.

Расшифрование выполняется так же, как и зашифрование, но инвертируется порядок подключей K_i .

Функция $f(A_i, K_i)$ вычисляется следующим образом:

A_i и K_i складываются по модулю 2^{32} .

Результат разбивается на восемь 4-битовых подпоследовательностей, каждая из которых поступает на вход своего узла таблицы замен (в порядке возрастания старшинства битов), называемого ниже S-блоком. Общее количество S-блоков стандарта — восемь, то есть столько же, сколько и подпоследовательностей. Каждый S-блок представляет собой перестановку чисел от 0 до 15 (конкретный вид S-блоков в стандарте не определен). Первая 4-битная подпоследовательность попадает на вход первого S-блока, вторая — на вход второго и т. д.

Если узел S-блока выглядит так:

$$\{\displaystyle B_{i+1}=A_{i}\}$$

1, 15, 13, 0, 5, 7, 10, 4, 9, 2, 3, 14, 6, 11, 8, 12

и на входе S-блока 0, то на выходе будет 1, если 4, то на выходе будет 5, если на входе 12, то на выходе 6 и т. д.

Выходы всех восьми S-блоков объединяются в 32-битное слово, затем всё слово циклически сдвигается влево (к старшим разрядам) на 11 битов.

Режимы работы блочных шифров. Схемы кратного шифрования. Режимы шифрования называют различные алгоритмы обработки данных, построенные на основе базового режима электронной шифровальной книги. Криптографическая стойкость этих алгоритмов определяется в основном стойкостью базового режима. Однако особенности различных режимов шифрования позволяют использовать блочный шифр для решения различных криптографических задач.

Простейшим режимом является режим электронной шифровальной книги (ECB – Electronic Codebook), когда открытый текст обрабатывается блоками по 64 бита и каждый блок шифруется с одним и тем же ключом.

Технология, свободная от недостатков режима ECB, CBC – режим сцепления шифрованных блоков, должна в случае повторения в сообщении уже встречавшегося ранее блока открытого текста генерировать блок шифрованного текста, отличный от сгенерированного ранее. Проще всего добиться этого с помощью режима сцепления шифрованных блоков (CBC – Cipher Block Chaining). В некоторых практических ситуациях требуется шифровать символы поступающего потока, не дожидаясь, когда сформируется целый блок данных.

В таких случаях удобен режим CFB (Cipher Feedback), в котором блоки открытого и шифрованного текста имеют длину j бит, где j – параметр режима, $1 \leq j \leq 64$ [3, 4].

Режим (OFB) обратной связи вывода превращает блочный шифр в синхронный шифр потока: он генерирует ключевые блоки, которые являются результатом сложения с блоками открытого текста, чтобы получить зашифрованный текст. Так же, как с другими шифрами потока, зеркальное отражение в зашифрованном тексте производит зеркально отражённый бит в открытом тексте в том же самом местоположении. Это свойство позволяет многим кодам с исправлением ошибок функционировать как обычно, даже когда исправление ошибок применено перед кодированием [4].

Основной недостаток режима BC заключается в том, что при расшифровании единичная ошибка в шифротексте влечёт некорректное расшифрование всех последующих блоков шифротекста [5].

Режим PCBC – сцепление блоков шифротекста с распространением ошибки используется в протоколе Kerberos 4 для выполнения за один проход и шифрования, и проверки целостности. В режиме PCBC единичная ошибка в шифротексте влечёт некорректное расшифрование всех последующих блоков шифротекста, что используется для проверки целостности сообщений.

Режим OFBNLF – нелинейная обратная связь по выходу наследует некоторые свойства режимов OFB и ECB:

$$C_i = E_{k_i}(P_i), k_i = E_k(k_{i-1}),$$

где $i = 1, \dots, N$; $k_0 = IV$ – вектор инициализации. Единичная ошибка в шифротексте распространяется только на один блок открытого текста, однако требуется поддержка синхронизации.

Скорость обработки информации определяется не только скоростью шифрования базовым алгоритмом, но и скоростью обновления текущего значения ключа.

Простейшая схема кратного шифрования – это двойное шифрование с помощью двух шифрующих подстановок с независимыми ключами [6].

Это увеличивает сложность задачи криптоанализа с известным открытым текстом до 2^{112} , что выходит за рамки как сегодняшних реальных возможностей, так и возможностей обозримого будущего. Однако недостаток такого подхода – требование использовать ключ размером 168 бит для DES и 768 бит для ГОСТ 28147-89, который можно считать уж слишком громоздким.

Схему тройного шифрования Тачмена с парой независимых ключей и называют режимом EDE (зашифрование-расшифрование-зашифрование).

Сравнительный анализ режимов шифрования. С использованием созданного программного комплекса был произведен сравнительный анализ шифров DES и ГОСТ 28147-89 в разных режимах шифрования, основываясь на изучении лавинного эффекта.

Явление лавинного эффекта тесно зависит от количества раундов в шифре. Исходя из этого, возникает возможность лавинного эффекта, при котором, изменение незначительного числа битов на входе приводит к значительному изменению битов на выходе.

На вход подаётся сообщение, длиной 1600 бит. В таблице 1 представлено среднее количество изменившихся выходных бит при изменении одного бита на входе в DES и ГОСТ 28147-89 в разных режимах шифрования. Сравнительная диаграмма шифров по лавинному эффекту представлена на рисунке 2.

Таблица 1. Результаты исследования лавинного эффекта.

Режим шифрования	Лавинный эффект DES	Лавинный эффект ГОСТ 28147-89
Electronic codebook (ECB)	8,831875	807,6425
Cipher Block Chaining (CBC)	114,3475	792,85
Cipher Feed Back (CFB)	106,463125	796,1575
Output Feed Back (OFB)	1	810,98625
Block Chaining (BC)	114,3475	792,85
Propagating Cipher Block Chaining (PCBC)	123,470625	819,49375
Output feedback with a nonlinear function (OFBNLF)	8,920625	793,425
Простое двойное шифрование	17,256875	794,1125
Метод Дэвиса-Прайса	381,789375	803,05625
Тройное шифрование Тачмена	8,86125	747,348125
Тройной алгоритм с тремя ключами	8,7975	802,993125

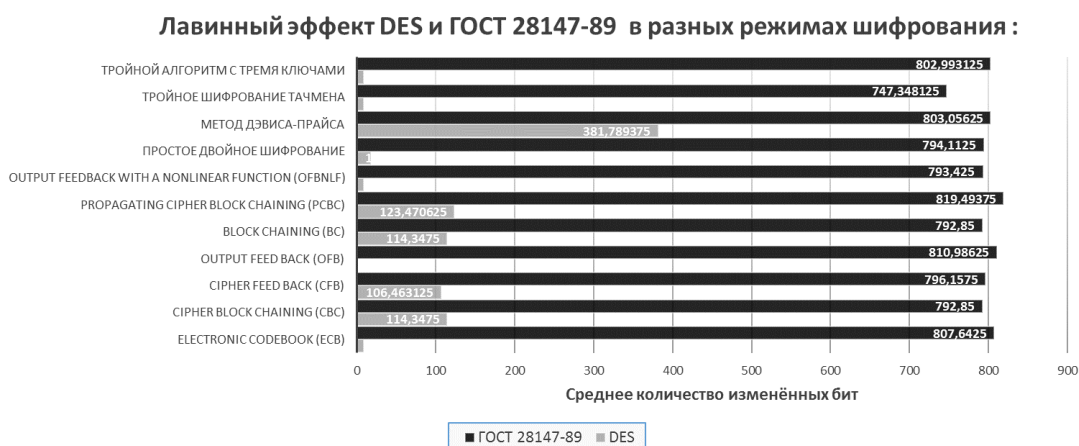


Рис. 2. Сравнительная диаграмма шифров

Процент изменившихся выходных бит при изменении одного входного бита в DES и ГОСТ 28147-89 представлен в таблице 2. Сравнительная диаграмма шифров по проценту изменившихся выходных бит представлена на рисунке 3.

Таблица 2. Процент изменившихся выходных бит

Режим шифрования	Процент изменившихся выходных бит при изменении одного входного бита	
	В DES	В ГОСТ 28147-89
Electronic codebook (ECB)	0,55%	50,48%
Cipher Block Chaining (CBC)	7,15%	49,55%
Cipher Feed Back (CFB)	6,65%	49,76%
Output Feed Back (OFB)	0,06%	50,69%
Block Chaining (BC)	7,15%	49,55%
Propagating Cipher Block Chaining (PCBC)	7,72%	51,22%
Output feedback with a nonlinear function (OFBNLF)	0,56%	49,59%
Простое двойное шифрование	1,08%	49,63%
Метод Дэвиса-Прайса	23,86%	50,19%
Тройное шифрование Тачмена	0,55%	46,71%
Тройной алгоритм с тремя ключами	0,55%	50,19%



Рис. 3. Сравнительная диаграмма шифров по проценту изменившихся выходных бит

Результаты исследования показали, что ГОСТ 28147-89 удовлетворяет лавинному критерию, так как изменение одного бита на входе вызывает изменение в среднем половины выходных битов.

Наименьшее количество изменённых бит, при изменении одного бита на входе, достигнуто при работе в режиме тройного шифрования Тачмена. Процент изменившихся бит в среднем равен 46,71%. Наибольшее изменение выходных битов происходит в режиме распространяющегося сцепления блоков шифра (Propagating Cipher Block Chaining, PCBC). Процент изменившихся бит в среднем равен 51,22%.

Исследование шифра DES показало, то шифр не удовлетворяет лавинному эффекту во всех режимах шифрования.

Наименьшее количество изменённых бит, при изменении одного бита на входе, наблюдалось при работе в режиме обратной связи по выходу (Output Feed Back, OFB). Процент изменившихся бит в среднем равен 0,06%. В этом режиме шифрования при изменении 1 бита на входе менялся 1 выходной бит.

Наибольшее изменение выходных битов происходит в режиме шифрования Дэвиса-Прайса. Процент изменившихся бит в среднем равен 23,86%.

В результате исследования был сделан вывод, что явление лавинного эффекта напрямую зависит от режимов шифрования. В некоторых режимах шифрования, зашифрованные блоки независимы, тогда лавинный эффект можно более объективно исследовать относительно этого блока, не учитывая остальные. Это различие объясняется особенностями использования этих режимов. Зачастую они не используются для шифрования сообщений, состоящих из нескольких блоков.

Протокол Диффи-Хеллмана. Проблемой симметричного шифрования является передача ключа. Каждый из абонентов системы, в которой шифрование происходит по симметричному алгоритму, должен иметь ключ для шифрования отправляемых сообщений и расшифровки принимаемых. Но обеспечить надёжный канал передачи данных для большого количества абонентов – задача сложная. Всегда есть риск того, что злоумышленник перехватит ключ и получит доступ к секретным данным. Таким образом, на данный момент стоит проблема разработки надёжного алгоритма передачи ключа.

Одно из возможных решений данной проблемы было предложено в 1976 году двумя американскими математиками У. Диффи и М.Э. Хеллманом. с помощью этого алгоритма можно безопасно передавать ключ по небезопасному каналу [5, 7].

В рамках данной работы была разработана программа для моделирования передачи ключа по данному алгоритму между двумя абонентами. Данная программа в дальнейшем может быть очень просто перестроена для практического применения в криптографических системах.

Сперва вкратце рассмотрим сам алгоритм для двух абонентов:

- 1) Выбираются числа n и g , где n – случайное большое простое число, а g – первообразный корень n . Оба числа открыты.
- 2) Оба абонента выбирают своё секретное большое число $X < n$.
- 3) Оба абонента вычисляют открытое значение Y : $Y = g^X \bmod n$.
- 4) Каждый абонент отправляет своё значение Y другому абоненту.
- 5) Оба абонента возводят присланное от другого значение Y в степень X .

Теперь у обоих абонентов есть одинаковое значение K , которое можно использовать как ключ для симметричных алгоритмов шифрования, при этом оно ни разу не передавалось по незащищённому каналу.

Ключевыми моментами алгоритма Диффи-Хеллмана является генерация больших простых чисел и поиск первообразных корней для этих чисел. Оба эти момента были исследованы в данной работе. Главным аспектом исследования являлось время работы, так как сгенерировать простые числа большой длины не является тривиальной задачей и она решается достаточно долго. С другой стороны, поиск первообразных корней для произвольного числа занимает еще большее количество времени, так как необходимо вычислять значение функции Эйлера для этого числа и раскладывать это значение на простые множители.

Алгоритм поиска простого числа очевиден, представлен на блок-схеме (рисунок 4):

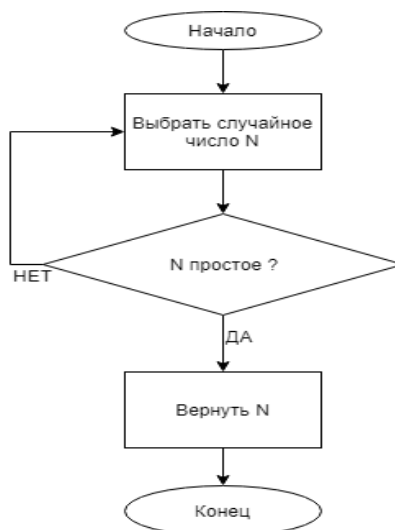


Рис. 4. Тривиальный алгоритм поиска простого числа

Здесь самой долгой задачей является ответ на вопрос является ли число простым. Наивный алгоритм проверки работает за время $O(N)$, в нём мы просто проходим по всем числам от 2 до $N-1$, и если число не делится ни на одно из них, то оно простое. С другой стороны, нам не обязательно проходить по всем числам из отрезка от 2 до $N-1$. Достаточно сначала проверить деление на 2, а затем проверять только нечетные числа и не до $N-1$, а до \sqrt{N} . Это, конечно, сильно сокращает количество проверяемых чисел, но работает всё еще очень долго для больших чисел. Очевидно, искать детерминированный алгоритм для решения задачи не стоит. Поэтому было принято решение использовать вероятностный алгоритм Миллера-Рабина [3]. Вероятность ошибки этого алгоритма составляет $1/4$, поэтому для большей уверенности в простоте числа, следует применять его несколько раз, таким образом после t проверок вероятность того, что число составное равно $(1/4)^t$. Несмотря на то, что тест приходится выполнять несколько раз, скорость проверки значительно возрастает, это позволяет генерировать числа большой длины. И всё же генерация числа занимает время.

Созданный программный комплекс включает в себя модуль, позволяющий генерировать простые числа заданной битовой длины и замерять время, затраченное на поиск такого числа. Также модуль позволяет найти все простые числа из заданного диапазона. С помощью этого модуля было проанализировано время генерации простых чисел в зависимости от требуемой битовой длины.

Из графика видно, что время генерации нелинейно зависит от длины числа (рисунок 5).

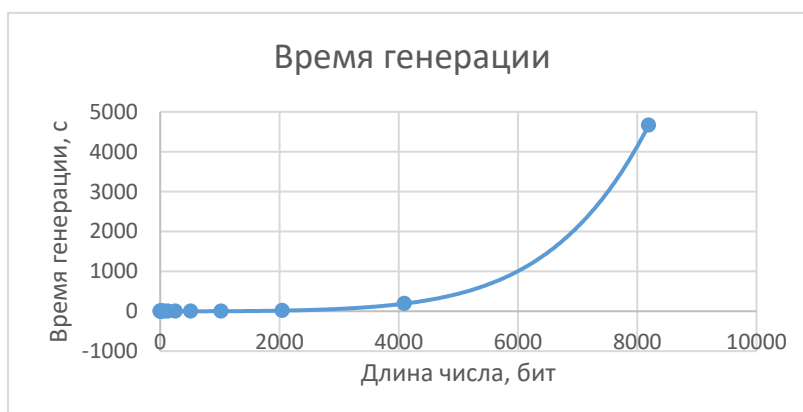


Рис. 5. Зависимость времени генерации от длины числа

Интерфейс модуля представлен на рисунке 6.

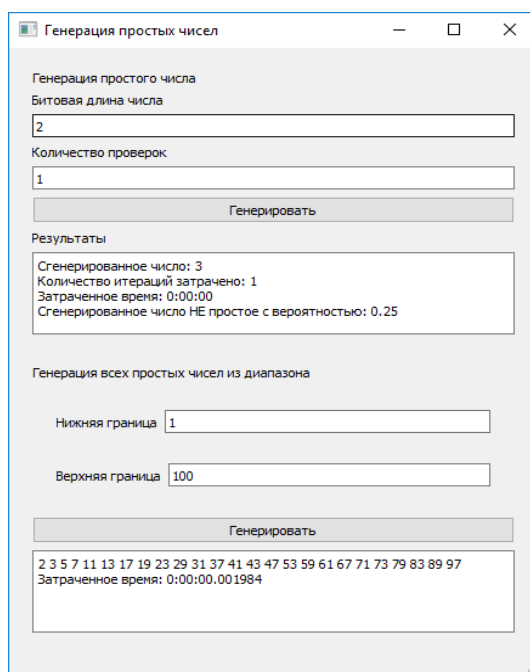


Рис. 6. Модуль генерации простых чисел

Если для 2048 бит время генерации занимает в среднем 15 секунд, то при увеличении числа в 2 раза, время генерации возрастает почти до 200 секунд, а на генерацию одного числа в 8192 бита потребовалось 4665 секунд. Это накладывает ограничения на использование данного алгоритма при генерации больших чисел. В таком случае приходится искать более подходящий алгоритм.

Представленный выше алгоритм справляется с генерацией ключей для RSA, однако протокол Диффи-Хеллмана ставит более строгие требования для простых чисел. Алгоритм требует искать первообразные корни для простого числа. Самый быстрый способ поиска первообразных корней предполагает факторизацию простого числа $N-1$. Данная задача для случайного большого числа, как известно, не может быть решена за приемлемое время. Выходом в такой ситуации становится поиск таких простых чисел N , для которых известно разложение $N-1$. В данной работе такими числами стали числа вида $N=Q \cdot P + 1$, где Q и P – случайные простые числа. Таким образом мы заранее знаем

разложение числа $N-1 = P*Q$. Соответственно в протоколе Диффи-Хеллмана программный комплекс использует модифицированный алгоритм генерации простых чисел. Ниже приведена его блок-схема (рисунок 7).



Рис. 7. Модифицированный алгоритм генерации простых чисел

Кроме того, если требуется найти простое число заданной битовой длины, требуется также проверять, длину получившегося N и искать его снова, если оно не подходит. Числа P и Q должны быть длиной в 2 раза меньше длины требуемого числа, тогда их произведение с большой вероятностью даст число требуемой длины. Исследование скорости работы данного алгоритма представлено в таблице 3.

Таблица 3. Зависимость скорости генерации простого числа от длины числа

Длина ключа (бит)	Время генерации, с
56	0,0304964
128	0,2028474
256	2,1165048
512	36,8417555

RSA. Как было показано выше, генерация длинных ключей с помощью протокола Диффи-Хеллмана может занимать много времени. Альтернативой ему может стать объединение ассиметричных и симметричных алгоритмов в одной системе.

С помощью ассиметричного алгоритма достаточно зашифровать относительно небольшой ключ симметричного алгоритма, после чего его можно без опаски передать в зашифрованном виде по незащищенному каналу [1]. Далее для шифрования текста можно использовать быстрый симметричный алгоритм. Выигрывает ли такая схема у протокола Диффи-Хеллмана? Ответ на этот вопрос был получен в рамках данной работы.

Интересующее нас время работы в данном алгоритме является суммой времени выполнения двух процессов: генерация RSA ключей и шифрование ключа с помощью RSA. В таблице 4 представлена зависимость времени работы алгоритма от длины простых чисел, используемых в RSA, а на рисунке 8 её график.

Таблица 4. Зависимость скорости работы от длины простых чисел

Битовая длина	Время (с)
128	0,0145987
256	0,0502961
512	0,2460044
1024	3,1549921
2048	37,27177108

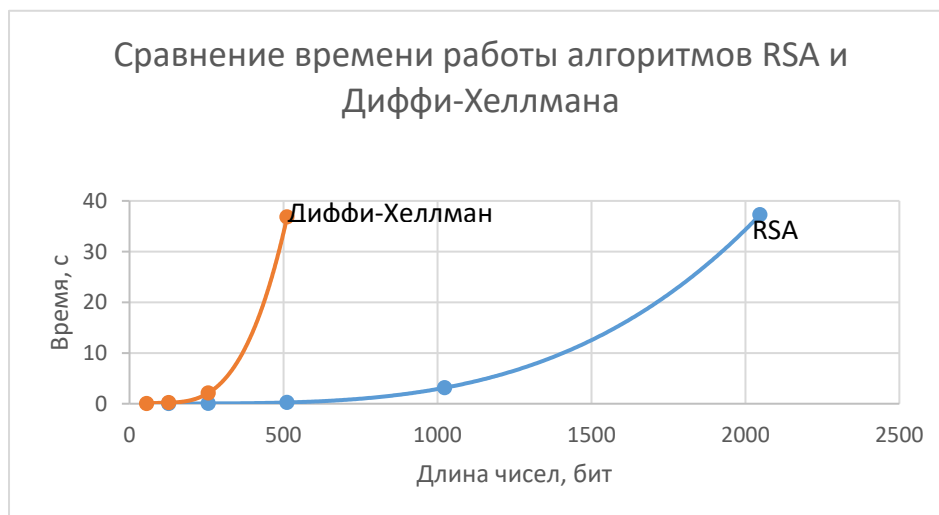


Рис. 8. Зависимость времени работы алгоритма от длины чисел

Анализируя результаты исследования скорости работы алгоритмов Диффи-Хеллмана и RSA, и учитывая, что в настоящее время использование ключей длиной менее 1024 бит считается ненадёжным, можно утверждать, что протокол Диффи-Хеллмана выигрывает у RSA во времени только для ключей длиной не более 256 бит. Для алгоритмов с большей длиной ключа, целесообразнее использовать RSA.

Выводы. В ходе проведенных экспериментов был проведен сравнительный анализ шифров DES и ГОСТ 28147-89, который показал, что первый не удовлетворяет лавинному критерию. Также было обнаружено, что явление лавинного критерия для шифров DES и ГОСТ 28147-89 напрямую зависит от режимов шифрования. Для DES наихудший режим обратной связи по выходу (0,06%), наилучший режим Дэвиса-Прайса (23,86%). Для ГОСТ наихудший режим тройного шифрования Тачмена (46,71%), наилучший распространяющегося сцепления блоков (51,22%).

Сравнительный анализ алгоритмов RSA и Диффи-Хеллмана показал, что для ключей длиной более 256 бит RSA работает быстрее, причем выигрыш в скорости возрастает с увеличением длины ключа более, чем в 8 раз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мао, В. Современная криптография: теория и практика : перевод с английского / В. Мао. – Москва : Вильямс, 2005. – 768 с.
2. ГОСТ 28147-89. Системы обработки информации. Защита криптографическая. Алгоритм криптографического преобразования : государственный стандарт Союза ССР : издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 2 июня 1989 года № 1409 : введен впервые : дата введения 1990-07-01. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 1996. – 26 с.

3. Математические и компьютерные основы криптологии : учебное пособие / Ю. С. Харин, В. И. Берник, Г. В. Матвеев, С. В. Агиевич. – Минск : Новое знание, 2003. – 382 с.
4. DES Modes of Operation : FIPS Publication 81. – Gaithersburg : National Institute of Standards and Technology, 1980.
5. Шнайер, Б. Прикладная криптография. Протоколы, алгоритмы, исходные тексты на языке Си / Б. Шнайер. – Москва : Триумф, 2002. – 816 с.
6. Столлингс, В. Криптография и защита сетей: принципы и практика : перевод с английского / В. Столлингс. – 2-е изд. – Москва : Вильямс, 2001. – 672 с.
7. Rescorla, E. Diffie-Hellman Key Agreement Method : RFC 2631 / E. Rescorla ; RTFM Inc. – CA 94303 : Network Working Group, 1999. – 13 p.

Поступила в редакцию 31.05.2020 г.

SOFTWARE COMPLEX FOR ANALYSIS OF PROPERTIES OF CRYPTOGRAPHIC ALGORITHMS

Kozhekina E.N., Bogatova M.V.

This work combines research in the field of several sections of cryptography. A software package has been developed in Python3, which includes the implementation of symmetric and asymmetric encryption algorithms, the basic algorithms for secure key transmission, as well as digital signatures.

Keywords: encryption methods, encryption algorithm, cryptographic protocol, python.

Кожекина Елена Николаевна

ст. преподаватель кафедры радиофизики и инфокоммуникационных технологий ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»,
ДНР, г. Донецк.
E-mail: kokekina-lena@yandex.ru

Kozhekina Elena Nikolaevna

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

Богатова Мария Викторовна

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

Bogatova Mariia Viktorovna

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

УДК 004.031.6

ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ ИСТОЧНИКА РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПРОГРАММНО-ОПРЕДЕЛЯЕМОЙ РАДИОСИСТЕМЫ

© 2020 Рушечников Я.И., Данилов В.В.

В настоящей работе предлагаются методы и алгоритмы автоматизированной локализации источников радиоизлучений с использованием программно-определяемой радиосистемы, а так же пространственная визуализация относительных параметров передающих радиоустройств или побочных электромагнитных излучений.

Ключевые слова: программно-определяемая радиосистема (SDR), радиомониторинг, тепловая карта излучения, python.

Введение. В связи с непрерывным ростом и плотностью радиоизлучений, поиск их локализация является актуальной научно-технической задачей. Одним из путей достижения цели авторами предлагается комплекс программно-определяемых радиосистемы (SDR).

Наиболее простым вариантом подхода обнаружения излучений передающих устройств являются индикаторы электромагнитного поля (ЭМП), которые при помощи средств индикации (звуковой и свето-логарифмической) сигнализируют о наличии ЭМП с напряжённостью, выше пороговой, выставленной оператором [1]. Примером устройства такого типа может быть СС308+, внешний и внутренний вид которого представлен на рис. 1 и рис. 2 соответственно.



Рис. 1. Внешний вид устройства СС308+

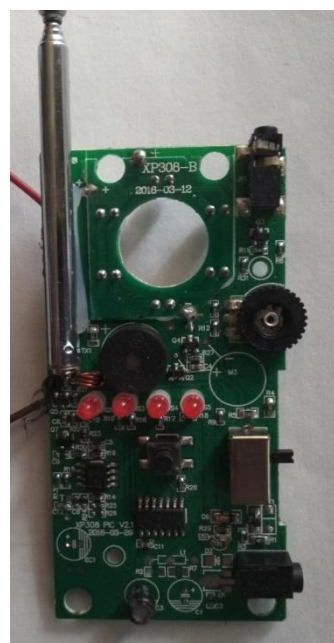


Рис. 2. Внутренний вид СС308+

СС308+ обладает следующими характеристиками:

- детектирование источников, которые генерируют сигнал дискретно (в момент трансляции).
- рабочий диапазон частот от 100 МГц до 3000 МГц (эксперимент с использованием SDR передатчика показал, что от 60 МГц до 2500 МГц).
- индикация при помощи света (логарифмическая шкала) звука (встроенный динамик) и вибрационного отклика.

К недостаткам можно отнести:

- низкая чувствительность.
- необходимость постоянного переключения порогового уровня.
- невозможность фиксации коротких сессий радиообмена из-за аналоговой природы индикации или ошибок оператора.

Более совершенным классом устройств являются приборы, которые автоматически настраиваются на частоты наиболее мощного сигнала и осуществляют детектирование его параметров. Чувствительность у подобного класса устройств невелика и они позволяют локализовать радиопередающие устройства на небольших расстояниях.

Высокую чувствительность имеют радиоприёмники с автоматической перестройкой частот и спектроанализаторы. В дополнение к функциям обнаружения излучений эти устройства могут определять дополнительные параметры сигнала, такие как тип модуляции.

Самыми же передовыми представителями устройств, способных решить задачу локализации источников радиоизлучений являются нелинейные локаторы. Принцип их работы основан на излучении мощного радиосигнала и приёме его гармоник, которые возникают из-за нелинейностей электронных компонентов локализуемого устройства.

Для повышения качества локализации, чувствительности и достоверности все вышерассмотренные устройства в разных комбинациях могут использоваться в программно-аппаратных автоматизированных комплексах. В простейших случаях — это связь индикаторов поля с информационными системами, в более сложных системах используются цифровые панорамные приёмники с широкой полосой обзора.

Постановка задачи. Так как базовые функции SDR систем включают в себя переключение между частотами сигнала, быстрый обзор радиообстановки по всей ширине динамического диапазона приёмника (в случае HackRF One это окно составляет 1 МГц — 6000 МГц за секунду). Он позволяет реализовать алгоритм локализации конкретно выбранного сигнала в пространстве при помощи замера параметров относительной мощности сигнала в определённых точках объема контролируемого помещения и проецирование плоской тепловой карты относительных мощностей излучения в различных точках средствами визуализации на языке Python.

Целью настоящей работы является разработка алгоритма сбора и визуализации данных на основе SDR системы, позволяющего продемонстрировать тренды распределения относительных мощностей радиосигнала в пределах контролируемого помещения.

Механизм автоматизированного сбора данных относительной мощности вещающего устройства. Проектирование и испытание алгоритмов или проверка концепций требует больших временных затрат, которые можно сократить, если использовать системы автоматизированного проектирования. Сфера использования программно-определяемого радиосистем не является исключением. Для неё

представлен инструмент GNU Radio companion, который позволяет при помощи потокового графа из блоков (которые доступны для конкретного приёмника) описать практически любые задачи радиовзаимодействия.

Поставленная цель подразумевает решение задачи получения значения относительной мощности в режиме реального времени, которую предлагается описать потоковым графом (рис. 3).

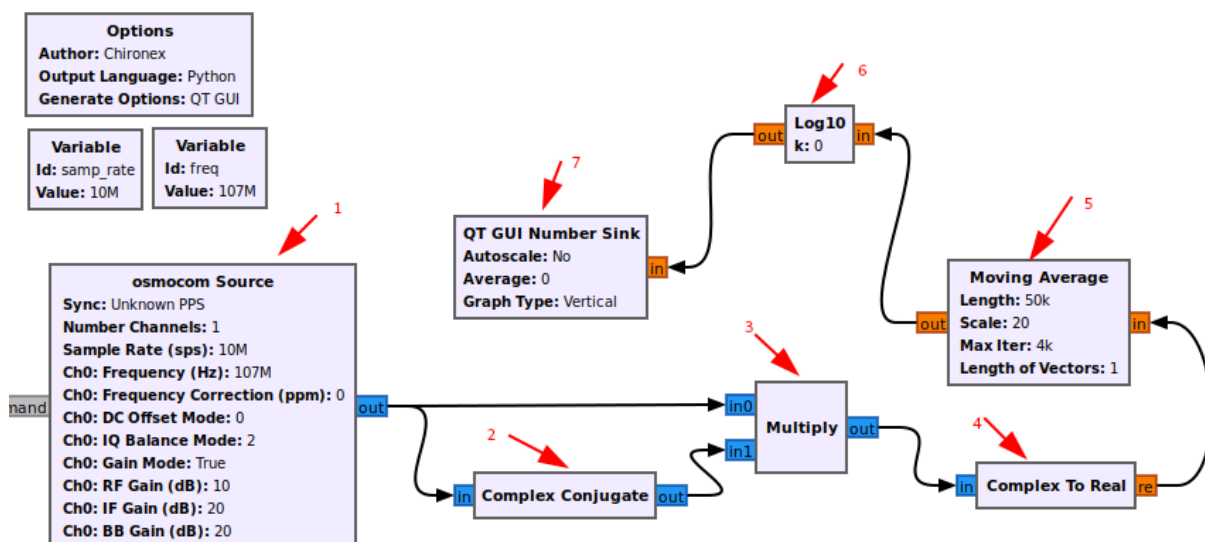


Рис. 3. Потоковый граф для получения относительной мощности сигнала

Описание блоков потокового графа

- 1) Непосредственно само приемное SDR устройство, с указанными параметрами частоты.
- 2) Блок получения комплексно-сопряжённых значений для потока.
- 3) блок умножения оригинального потока с комплексно-сопряжённым.
- 4) блок перевода комплексных чисел в вещественные.
- 5) получение скользящего среднего с заданными параметрами.
- 6) логарифмирование по основанию 10.
- 7) вывод в виде динамической столбчатой диаграммы описание принципа работы потокового графа.

На первом этапе данные от приёмника делятся на две части, одна из которых остаётся оригинальной, а вторая становится комплексно-сопряжённой. Далее два эти потока перемножаются, и, исходя из свойств комплексных чисел, мы получаем только действительную часть, которая в блоке 4 переводится в обычное число. Так как таких чисел от приёмника приходит много, то рациональным подходом является использование механизма скользящего среднего. В графе (рис. 3), скользящее среднее вычисляется для пакета в 50000 выборок. Следующий блок под номером 6 логарифмирует полученный поток чисел, чтобы получить набор чисел, в промежутке от 0 до 70. Подобный подход используется в SDR Sharp и GQRX для определения относительной мощности принимаемого сигнала. Стоит уточнить, что SDR приёмник не является измерительным прибором, и все параметры, которые генерируются с его помощью являются относительными. Но, тем не менее, чувствительность его позволяет реагировать и фиксировать даже малейшие изменения радиообстановки. Результатом запуска данного потокового графа на исполнение является столбчатая диаграмма с

постоянно обновляющимися значениями, которые приёмник фиксирует в данный момент времени на указанной частоте (рис. 4).

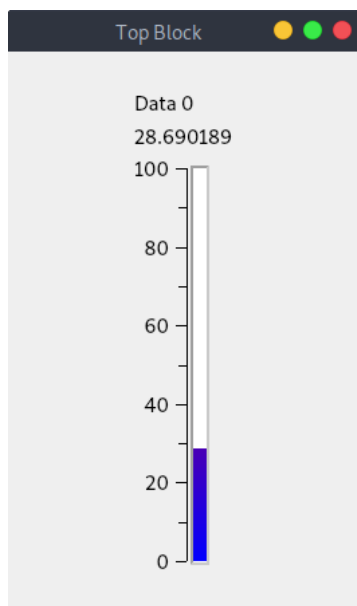


Рис. 4. Уровень относительной мощности на частоте 107 МГц

Адаптация рассмотренного подхода к локализации источника излучения. В качестве устройства, положение которого необходимо локализовать был использован цифровой FM транзмиттер (радиомикрофон), который позволяет вещать на частотах от 76 МГц до 108 МГц с выходной мощностью порядка 100 мВт. Отличительной особенностью данного транзмиттера является возможность переключения частоты вещания с шагом в 100 КГц (рис. 5).

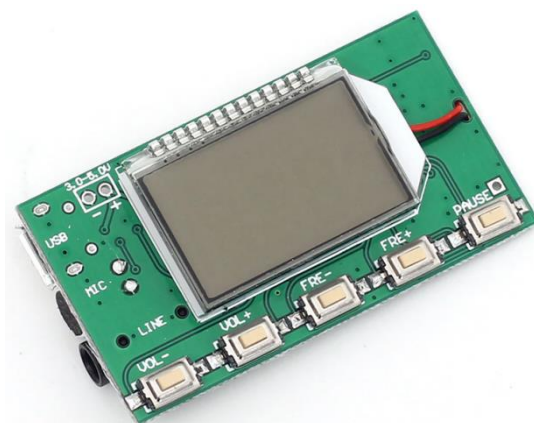


Рис. 5. Внешний вид транзмиттера

В качестве объекта для исследования выбрано помещение (комната) с геометрическими размерами (320x472) в которой располагается трансивер в режиме передачи и оператор с SDR системой, средствами которой будет определяться положение трансивера в пространстве.

В качестве системы для фиксации состояния радиообстановки на указанной частоте был использован SDR комплекс HackRF One с некоторыми дополнениями. HackRF One представляет из себя внешнее периферийное устройство со встроенным

антенным блоком, соединённое с компьютером по шине USB. Так как методика проведения эксперимента предполагает перемещение приёмника и мобильной вычислительной системы по объекту, то необходимо стационарное положение приёмника относительно оператора и вычислительной техники. Проводя эксперименты без стационарного положения, были получены не столь точные результаты по локализации, которые вызваны влиянием оператора на процесс измерения. Для решения проблемы стационарного крепления была разработана и распечатана трехмерная модель крепления приёмника на крышку ноутбука, которая представлена на рис. 6, а внешний вид законченного устройства представлен на рис. 7.

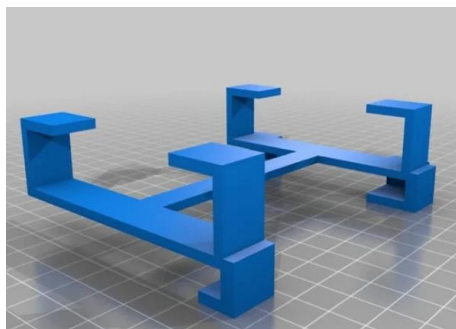


Рис. 6. Трёхмерная модель крепления



Рис. 7. Внешний вид комплекса

Методика исследования предполагает деление помещения на зоны, и замер в каждой из них параметров относительной мощности принимаемого на указанной частоте сигнала. Чем больше будет выбрано зон, тем более полная и достоверная картина локализации будет получена.

Объект исследования был разделен на 24 прямоугольные зоны, и в каждой из них была записана картина относительной мощности, которая представлена в таблице 1

Таблица 1 Массив данных с состоянием радиообстановки

47.4	47.2	48.7	52.1
47.9	51.9	54.5	56.2
44.4	48.1	49.5	60.1
43.6	47.1	45.8	56.5
38.8	43.6	40.8	44.5
40.1	40.8	42.8	41.3

Результаты работы алгоритма. Измерения в каждой точке тестируемого помещения записывались в специальную таблицу, по которой можно построить тепловую карту относительных мощностей. Это делается при помощи средств языка Python и библиотеки визуализации plotly, причём тепловая карта, представленная на рис. 8 описывает плавные переходы между разными зонами, а так же цветовую шкалу, по которой можно визуальнo дифференцировать место, где было локализовано радиоизлучение.

Несмотря на то, что участки зоны для тестирования были выбраны довольно большие, а именно квадраты 80x80 см, удалось визуальнo локализовать передатчик, кроме того на тепловой карте есть ярко подсвеченный участок, который совпадает с пространственной ориентацией передающей антенны.

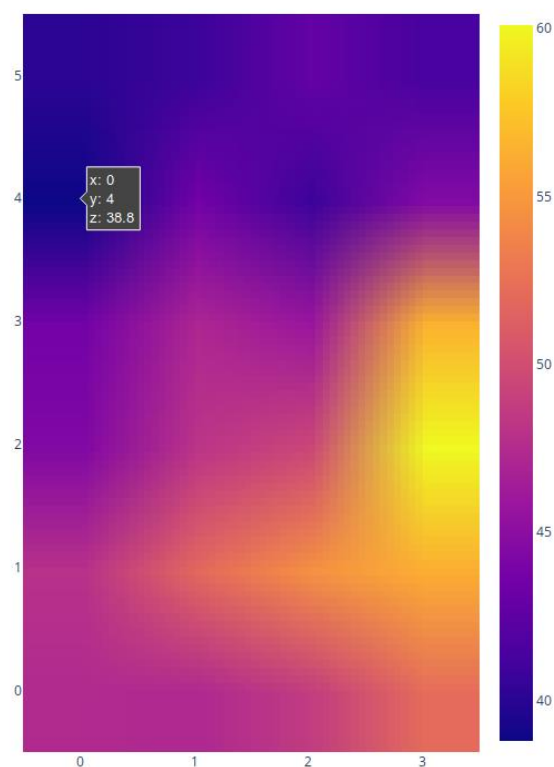


Рис. 8. Тепловая карта радиообстановки

Выводы. Рассмотрен механизм локализации источника излучения, с использованием в качестве регистрирующей системы SDR HackRF One (приёмник), что позволило:

- установить последовательность операций локализации сигналов в широком диапазоне частот, основываясь на функциональных возможностях системы [2];
- установить процедуру автоматизации фиксации перемещения SDR системы в пространстве, что позволит в перспективе не делить объект на части, сократить время измерения, а также значительно повысить качество тепловой карты распределения радиоизлучений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рушечников Я. И Информационная технология радиомониторинга на основе программно-определяемой радиосистемы / Я. И. Рушечников, В. В. Данилов // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. – 2020. – № 1. – С. 31-36.
2. HackRF // GREAT SCOTT GADGETS : [сайт]. – URL: <http://greatscottgadgets.com/hackrf/> (дата обращения: 01.06.2020). – Текст : электронный.
3. Ossmann M. What's on the Wireless? Automating RF Signal Identification : Great Scott Gadgets Technical Report 2017-1 / М. Ossmann, D. Spill. – Изображение (движущееся ; двухмерное) : видео // YouTube^{RU}. – URL: https://www.youtube.com/watch?v=XNcGhnY_0oI (дата обращения: 01.06.2020).

Поступила в редакцию 05.06.2020 г.

**INFORMATION TECHNOLOGY FOR LOCALIZING THE SOURCE OF RADIATION ON BASED
ON SOFTWARE-DETERMINED RADIO**

Rushechnicov Y.I., Danilov V.V.

In this paper, we propose methods and algorithms for the automated localization of radio emission sources using a software-defined radio system, as well as spatial visualization of the relative parameters of transmitting radio devices or spurious electromagnetic radiation.

Keywords: software-defined radio (SDR), radio monitoring, heat map of radio source, python

Рушечников Ярослав Иванович

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

Rsuhechnicov 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.

УДК 621.396.41

ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ В ГЕТЕРОГЕННЫХ СЕТЯХ СОТОВОЙ СВЯЗИ LTE

© 2020 Дзюба А.В.

В настоящей работе предложено в основу методики планирования гетерогенной сети сотовой связи LTE положить критерий оптимизации, учитывающий минимизацию капитальных затрат на ее развертывание и обеспечение заданного уровня качества обслуживания. Сформулированный критерий оптимизации расположения базовых станций такой сети с учетом минимизации стоимости их развертывания позволит в дальнейшем обеспечить снижение энергопотребления гетерогенной сетью в процессе ее эксплуатации.

Ключевые слова: гетерогенная сеть LTE, оптимизация, планирование, критерий, базовая станция, капитальные затраты.

Введение. Непрерывно возрастающее количество мобильных устройств стало причиной существенного увеличения объемов данных, передаваемых с их помощью. В крупных городах особенности этой тенденции заключаются в появлении мест массового скопления людей, которыми, как правило, являются железнодорожные и автовокзалы, стадионы, торгово-развлекательные комплексы и т.п. Организовать качественное обслуживание абонентов в таких условиях возможно за счет развертывания гетерогенных сетей сотовой связи LTE [1].

Гетерогенная сеть LTE состоит из сот различного типа. При этом имеющие более крупный размер макросоты обеспечивают глобальное покрытие, а более мелкие микро-, пико- и фемтосоты используют для временного увеличения емкости в точках периодического массового скопления людей. Поскольку такие сети характеризуются сложной структурой, то для управления ими необходимо применять аналитические методы системного анализа [2].

Одной из главных проблем развертывания гетерогенных сетей является высокое потребление электроэнергии. Основой для его снижения служит корректное определение актуального метода выбора сот в зависимости от количества активных абонентов, их распределения по территории макросоты и запрашиваемых ими услуг [3].

Методы выбора сот на основе пропускной способности и на основе энергосбережения дают возможности снизить общее потребление энергии в сети, сбалансировать количество пользователей в микросотах и макросотах, управлять качеством услуг для абонентов в двухчастотной системе [4].

В предыдущих работах [3, 4, 5] автором: разработана модель снижения энергопотребления в гетерогенной сотовой сети LTE с пошаговым диммированием базовых станций макросот; составлен критерий минимизации общего потребления энергии путем отключения микро базовых станций при отсутствии активных пользователей, и оптимизации мощности передачи макро базовых станций в соответствии с текущим числом пользователей макро базовых станций [5].

Постановка задачи. Целью работы является разработка методики планирования гетерогенной сети сотовой связи LTE с учетом минимизации капитальных затрат на ее развертывание и уменьшения энергопотребления в процессе ее эксплуатации в дальнейшем. Объектом развертывания сети выступает городская территория, состоящая из зон обслуживания различного типа, включающих жилые кварталы, дороги, торговые

и развлекательные центры и прочее. Каждая зона обслуживания обладает уникальными требованиями к трафику.

Критерий оптимизации расположения базовых станций в гетерогенной сети сотовой связи LTE с учетом минимизации капитальных затрат и качества обслуживания. Рассмотрим район площадью A км² с количеством тестовых точек tt , где $tt \in [1, N^{tt}]$. Тестовые точки необходимы для гарантированного покрытия территории, но не отражают требования к трафику. Пусть в районе расположены mbs потенциальных макро базовых станций, где $mbs \in [1, N^{mbs}]$ и ts точек потенциального скопления абонентов, где $ts \in [1, N^{ts}]$. Количество макро базовых станций ограничивает возможные места их развертывания. Эти ограничения близки к реальным, учитывающим такие факторы, как особенности рельефа, доступность инфраструктуры, окружающие препятствия и сложности с приобретением объектов для расположения оборудования, которые ограничивают свободу развертывания макро базовых станций. Пусть $k1^{mbs} = 1$, если макро базовая станция развернута в потенциальном месте расположения mbs . Точки потенциального скопления абонентов представляют собой небольшую территорию, где могут собираться абоненты. В отличие от макро базовых станций для микро базовых станций не существует ограничений по месту развертывания. Поэтому исходим из того, что можно установить микро базовую станцию в любой тестовой точке. Пусть $k2^{tt} = 1$, если микро базовая станция развернута в тестовой точке tt . При этом, поскольку макро базовая станция должна обеспечивать полное покрытие соты независимо от состояния микро базовых станций, каждая тестовая точка должна находиться в зоне покрытия как минимум одной макро базовой станции. Пусть $k3^{tt,mbs} = 1$, если тестовая точка tt находится в зоне покрытия макро базовой станции mbs и $k3^{tt,mbs} = 0$ в противном случае. Кроме того, точка потенциального скопления абонентов ts должна находиться в зоне покрытия как минимум одной микро базовой станции. Пусть $k4^{ts,tt} = 1$, если точка потенциального скопления абонентов ts находится в зоне покрытия микро базовой станции из тестовой точки tt и $k4^{ts,tt} = 0$ в противном случае. Чтобы учесть зависимость между местоположениями точки потенциального скопления абонентов и микро базовой станции, в выражение включено предполагаемое расстояние между ними $L2^{ts,tt}$. Стоимость развертывания сети включает стоимость базовой станции, состоящую из оборудования базовой станции, радиооборудования, стоимость монтажа и установки. Пусть она равна C^{mac} для макро базовой станции и C^{mic} для микро базовой станции. Пусть стоимость транспортной сети между макро и микро базовыми станциями равна $c1$, стоимость микро базовых станций, удаленных от точек скопления абонентов равна $c2$. Тогда для создания гетерогенной сотовой сети с минимальными капитальными затратами необходимо найти:

$$\min \sum_{mbs=1}^{N^{mbs}} C^{mac} k1^{mbs} + \sum_{tt=1}^{N^{tt}} C^{mic} k2^{tt} + \sum_{mbs=1}^{N^{mbs}} \sum_{tt=1}^{N^{tt}} c1L1^{mbs,tt} k1^{mbs} k2^{tt} + \sum_{ts=1}^{N^{ts}} \sum_{tt=1}^{N^{tt}} c2L2^{ts,tt} k4^{ts,tt} k2^{tt} \quad , \quad (1)$$

где:

$$\sum_{tb=1}^{N^{tt}} k3^{tt,mbs} k1^{mbs} \geq 1; \quad (2)$$

$$\sum_{ts=1}^{N^{ts}} k4^{ts,tt} k2^{tt} \geq 1; \quad (3)$$

$$L1^{tt,mbs} k3^{tt,mbs} k1^{mbs} \leq R^{mac}; \quad (4)$$

$$L2^{ts,tt} k4^{ts,tt} k2^{tt} \leq R^{mic}; \quad (5)$$

$$k1^{mbs} \in \{0,1\}; \quad (6)$$

$$k2^{tt} \in \{0,1\}; \quad (7)$$

$$k3^{tt,mbs} \in \{0,1\}; \quad (8)$$

$$k4^{ts,tt} \in \{0,1\}. \quad (9)$$

Выражение (1) состоит из двух частей. Первые два слагаемых минимизируют стоимость развертывания базовых станций, оперируя их количеством. Два следующих слагаемых предназначены для оптимизации местонахождения микро базовых станций. Общие затраты на организацию транспортной сети между микро и макро базовыми станциями $c1$ зависят от расстояния между микро базовыми станциями и макро базовой станцией, к которой они подключены. $L1^{tt,mbs}$ определяет расстояние между потенциальным местоположением макро базовой станции mbs и тестовой точкой tt . Для выбора места развертывания микро базовой станции необходимо учитывать расстояние $L2^{ts,tt}$ между потенциальным местоположением микро базовой станции в тестовой точке tt и соответствующей ей точкой потенциального скопления абонентов ts , чтобы обеспечить требуемый уровень обслуживания абонентов, находящихся в зоне покрытия микро базовой станции. $c2$ является коэффициентом, указывающим на случаи, когда микро базовая станция расположена на большом расстоянии от точки потенциального скопления абонентов. Условие (2) обеспечивает наличие как минимум одной макро базовой станции, покрывающей каждую тестовую точку, поскольку макро базовые станции должны гарантировать полное покрытие соты в любое время. Условие (3) гарантирует, что микро базовые станции покрывают все точки потенциального скопления абонентов. Условия (4) и (5) указывают на то, что тестовые точки tt и точки потенциального скопления абонентов ts должны находиться в зоне покрытия соответствующих макро и микро базовых станций. Условия (6-9) указывают на то, что данные переменные являются двоичными.

Поскольку необходимо составить план расположения базовых станций гетерогенной сети сотовой связи в масштабах города, количество переменных будет значительным. Решить такую задачу будет сложно. Поэтому разделим ее на две части: планирование сети, основанное на обеспечении покрытия, и планирование сети,

основанное на качестве обслуживания. Первая часть включает обеспечение полного покрытия соты. Во второй части также рассматриваются требования к качеству обслуживания в точках потенциального скопления абонентов. Это позволяет отразить возрастание требований к качеству обслуживания в отдельных точках, которое требует дополнительных ресурсов сети, чтобы обеспечить удовлетворительный уровень обслуживания новых абонентов. Задача оптимизации, основанная на покрытии, формулируется следующим образом:

$$\min \sum_{mbs=1}^{N^{mbs}} C^{mac} k1^{mbs},$$

где:

$$\sum_{tb=1}^{N^{tt}} k3^{tt,mbs} k1^{mbs} \geq 1;$$

$$L1^{tt,mbs} k3^{tt,mbs} k1^{mbs} \leq R^{mac};$$

$$k1^{mbs} \in \{0,1\};$$

$$k3^{tt,mbs} \in \{0,1\}.$$

Задача оптимизации, основанная на качестве обслуживания, формулируется следующим образом:

$$\min \sum_{tt=1}^{N^{tt}} C^{mic} k2^{tt} + \sum_{mbs=1}^{N^{mbs}} \sum_{tt=1}^{N^{tt}} c1 L1^{mbs,tt} k1^{mbs} k2^{tt} + \sum_{ts=1}^{N^{ts}} \sum_{tt=1}^{N^{tt}} c2 L2^{ts,tt} k4^{ts,tt} k2^{tt},$$

где:

$$\sum_{ts=1}^{N^{ts}} k4^{ts,tt} k2^{tt} \geq 1;$$

$$L2^{ts,tt} k4^{ts,tt} k2^{tt} \leq R^{mic};$$

$$k2^{tt} \in \{0,1\};$$

$$k4^{ts,tt} \in \{0,1\}.$$

Решив задачу оптимизации по полученному критерию, получим структуру гетерогенной сети сотовой связи LTE, применяя к которой метод выбора сот по энергосбережению и пошаговое диммирование можно достичь существенного снижения суммарного энергопотребления подсистемой базовых станций.

Выводы. Первым этапом решения задачи оптимизации энергопотребления гетерогенной сетью сотовой связи LTE в условиях крупного города является планирование рационального расположения базовых станций. Его можно добиться, если, используя разработанный критерий, расположить станции так, чтобы

одновременно обеспечить полное покрытие соты и заданное качество обслуживания абонентов при минимальных капитальных затратах. В дальнейшем к такой сети могут быть применены метод выбора сот по энергосбережению и пошаговое диммирование макро базовых станций, что позволит значительно сократить эксплуатационные затраты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабков В. Ю. Сотовые системы мобильной радиосвязи. (2-е изд. перер. и доп.) [Текст] / В. Ю. Бабков - Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2013. – 432 с.
2. Скрынников В. Г. Радиоподсистемы UMTS/LTE. Теория и практика [Текст] / В. Г. Скрынников – Москва: Издательство "Спорт и Культура – 2000", 2012. – 864 с.
3. Дзюба А. В. Задача оптимизации энергопотребления гетерогенной сетью LTE в условиях крупного города / Дзюба А. В., Червинский В. В. // Информатика и кибернетика, 2019 - №4 (18). – С. 57 -64.
4. Червинский В. В. Исследование методов выбора сот для условия перспективной гетерогенной сети LTE г. Донецка / Червинский В. В., Дзюба А. В. // Сборник научных трудов ДониЖТ. – Донецк: ДониЖТ, 2020. – Вып. 56. – С. 31-42.
5. Дзюба А. В. Математическая модель системы обслуживания вызовов пожарных подразделений / Дзюба А. В. // «Вестник Академии гражданской защиты»: научный журнал. –Донецк : ГОУВПО «Академия гражданской защиты» МЧС ДНР. –2020. –Вып. 1 (21). – С. 132-139.

Поступила в редакцию 05.06.2020 г.

OPTIMIZATION OF BASE STATION'S LOCATION IN HETEROGENEOUS CELLULAR NETWORKS LTE

Dziuba A.V.

In this paper we have proposed to put an optimization criteria, considering the minimization of capital expenditures for its deployment and ensuring a given level of service quality into the planning methodology for a heterogeneous LTE cellular network. In the future the formulated criteria of base station's locations in such network with the minimization of their cost of deployment will allow to reduce the energy consumption of a heterogeneous network during its operation.

Keywords: heterogeneous network LTE, optimization, planning, criteria, base station, capital expenditures.

Дзюба Андрей Всеволодович

старший преподаватель кафедры автоматизации и телекоммуникаций ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», ДНР, г. Донецк.
E-mail: sevitch77@mail.ru

Dziuba Andrii Vsevolodovich

Senior Lecturer at Department of Automation and Telecommunications of Donetsk National Technical University,
DPR, Donetsk.

ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

УДК 669: 536.24

ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА ПРИ ДЕГАЗАЦИИ ЖИДКОГО МЕТАЛЛА ОТ РАСТВОРЕННОГО В НЕМ АЗОТА КОМПЛЕКСНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ

© 2020 *Захаров Н.И., Бирюков А.Б., Тупилко И.В., Шатович В.А.*

Рассмотрены процессы теплообмена в жидком металле, в котором азот растворим, при дегазации расплава в следующей технологической цепочке: а) выпуск металла из плавильной печи в ковш (рафинировочную емкость) с пористым днищем, через которое расплав продувается аргоном при атмосферном давлении под слоем шлака; б) продолжение продувки после заполнения ковша металлом до определенной концентрации азота в жидкой ванне; в) комплексное воздействие на металл (после скачивания шлака) вакуумом, продувкой аргоном, и электростатическим полем докритических напряженностей. Обосновано, что исследование интенсификации процессов теплообмена (в общем случае при неравномерном распределении температуры по объему расплава) – и выбор рациональных параметров технологии шаг к повышению производительности внепечной обработки металла с позиции энергосбережения. Проведена оценка тепловой мощности электрического тока, формируемого при движении металлического проводника в рассматриваемом внешнем поле.

Ключевые слова: энергосбережение, теплообмен, жидкий металл, азот, математическая модель, тепловая мощность.

Введение. Одним из наиболее эффективных способов внепечной (вне плавильной печи) дегазации металлургических расплавов является комплексное воздействие на металл продувки аргоном, а также наложение на поверхность расплава электростатического поля с источником в вакуум-камере [1].

Проблема энергосбережения остается одной из самых актуальных. Применительно к повышению производительности рассматриваемых технологий ее решение приобретает форму разработки их энергосберегающих режимов в условиях интенсификации процессов теплообмена (массообмена в неизотермической жидкой ванне).

Азот в расплавах железа и металлов с высокой температурой плавления растворим, а его молекулы диссоциированы на атомы [2]. При этом, избыток азота в изделиях из металла, как известно, приводит к их преждевременному старению.

Основная часть. Представляется перспективной следующая технологическая цепочка комплексного воздействия на металл с целью его деазотации [1,3]: а) выпуск металла из плавильной печи в ковш (рафинировочную емкость) с пористым днищем, через которое расплав продувается аргоном при атмосферном давлении под слоем синтетического шлака; б) продолжение продувки (после заполнения ковша металлом) до определенной концентрации азота в жидкой ванне; в) комплексное воздействие на металл (после скачивания шлака) вакуумом, продувкой аргоном и электростатическим полем докритических напряженностей.

Процессы теплообмена атомов азота в жидкой ванне в первые два этапа рассматриваемой технологической цепочки могут быть описаны следующим уравнением, которое является обобщением уравнения, представленного в работе [3]:

$$\varepsilon = \frac{1}{Q_N} \int_{\tau_0}^{\tau} \frac{\dot{m}}{m_0} \left(\int_0^{H_M} \left(\frac{dH_M}{U} \right) d\tau \right) d\tau, \quad (1)$$

где ε – эффективность теплопереноса азота в жидком металле (степень его дегазации); Q_N – начальное содержание азота в расплаве; τ_0 , τ – момент начала и текущее время продувки жидкой ванны аргоном; \dot{m} – массовый секундный расход аргона; m_0 – его масса в единичном пузыре этого инертного газа; U – текущая скорость всплывания пузырей; I – поток массы азота на поверхность единичного пузыря; H_M – уровень расплава в ковше.

При этом величины (\dot{m}, m_0, I, U) являются функциями времени продувки. Искомая величина τ в зависимости от параметров процесса при фиксированном ε заключена в пределы интегрирования. Таким образом, ставится задача определения времени продувки, которое необходимо для достижения заданного ε . Форма уравнения (1) позволяет избежать процедуры осреднения величин (I, U) [3] по объему в общем случае неизотермического расплава и последовательно проводить расчет потока массы атомов азота на поверхность всплывающих пузырей аргона по мере их всплывания по траектории.

Сложность расчета уравнения (1) связана с изменением режимов всплывания пузырей аргона вследствие увеличения их объема в процессе подъема в жидкой ванне.

Пусть в момент времени $\tau = 0$ начинается заполнение рафинировочной емкости жидким металлом. При $\tau \geq \tau_0$ расплав подвергается обработке продувкой инертным газом. Зеркало металла с момента $\tau = 0$ покрыто слоем рафинировочного шлака, предохраняющего расплав от переохлаждения и перехода в него газа из атмосферы. Высота металла в рафинировочной емкости в зависимости от времени определяется как:

$$H_M(\tau) = \begin{cases} \left(\frac{\dot{m}_M}{\rho_M S} \right) \tau, & 0 \leq \tau < \tau_{\text{вып}}, \\ H_0 = \text{const}, & \tau \geq \tau_{\text{вып}} \end{cases}$$

где ρ_M , \dot{m}_M – плотность и массовый расход металла в ковше; S – площадь его днища; $\tau_{\text{вып}}$ – время заполнения расплавом ковша (время выпуска металла из печи в ковш); $H_0 = H_M(\tau_{\text{вып}})$.

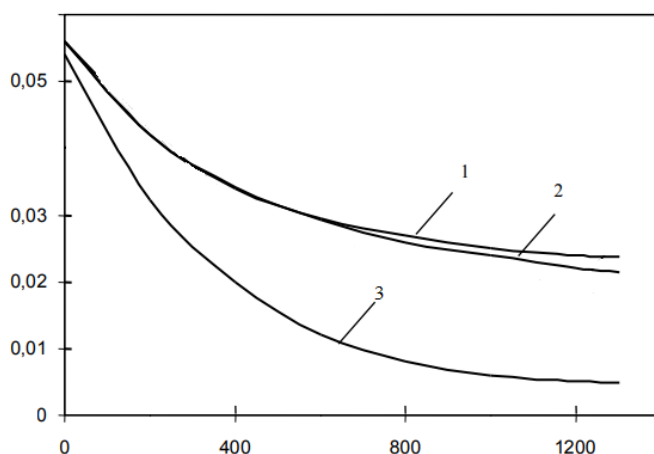


Рис. 1. Зависимость концентрации азота в расплаве железа от времени продувки

Основные допущения, используемые при построении математической модели процессов тепломассопереноса при внепечной дегазации жидкого металла всплывающими пузырями инертного газа, являются общепринятыми [3]:

- а) концентрация удаляемого азота однородна по объему металла вследствие перемешивающего действия газовых пузырей (за исключением областей неперемешиваемых диффузионных пограничных слоев на границах газ – металл);
- б) на границах газ – металл достигается термодинамическое равновесие;
- в) смесь газов в пузырях идеальная (в термодинамическом смысле);
- г) перенос газов из окружающей среды в металл отсутствует;
- д) слой шлака проницаем для всплывающих пузырей инертного газа.

На рисунке 1 показано сравнение результатов расчета на основе предложенной математической модели с данными лабораторных исследований [4] при дегазации жидкого железа от растворенного азота пузырями аргона в присутствии поверхностно-активных элементов. Сопоставление кривых для лабораторных 1 и расчетных 2 результатов свидетельствует об их удовлетворительном согласовании. При этом качественное поведение кривых идентично. Расхождение в количественном отношении, не превышающее 5%, объясняется известным отклонением системы железо – азот от состояния термодинамического равновесия, положенного в основу построения математической модели. Кривая 3 отвечает результатам компьютерного моделирования в условиях допущения отсутствия в расплаве поверхностно-активных элементов (ПАЭ). Как следует из относительного сопоставления кривых, учет адсорбции ПАЭ поверхностями пузырей аргона, замедляющей тепломассоперенос атомов азота из жидкой ванны в пузыри, дает результат, который значительно лучше согласуется с экспериментальными данными.

Количественная адекватность разработанной математической модели эксперименту для условий заполненного металлом ковша, установленная выше, дополняется качественным совпадением кривых (расчетной и экспериментальной) работы [5], полученными на лабораторной установке.

В частности, на этой установке по очищению воды от растворенного в ней хлора всплывающими пузырями воздуха подтверждено, полученное расчетным путем, наличие энергоресурсосберегающей интенсивности продувки, выше которой эффективность диффузионного тепломассопереноса хлора в пузыри воздуха снижается. Снижение интенсивности продувки до уровня этого оптимального значения – фактор экономии энергоносителя.

На рисунке 2 построен график зависимости концентрации азота в расплаве железа от времени продувки при ее продолжении после выпуска в ковш расплава из печи. Кривые 1 – 3 соответствуют различным концентрациям поверхностно-активного элемента в ванне. Из графика следует, что при продолжении продувки на оптимальной интенсивности после момента $\tau = \tau_{\text{вып}}$, как правило, можно добиться большего снижения концентрации азота. Однако эффективность диффузионного процесса при $\tau > \tau_{\text{вып}}$ снижается. Это находится в качественном согласии с известными данными, по которым эта эффективность возрастает с увеличением концентрации удаляемого газа и соответственно уменьшается при ее понижении [6]. Из этого рисунка видно также, что с увеличением концентрации ПАЭ кривая лежит выше, что связано с адсорбцией этого поверхностно-активного элемента на пузырьковой поверхности и соответственно блокированием ее части для тепломассопереноса удаляемого азота через границу раздела фаз. При этом повышение концентрации ПАЭ, как известно, приводит к увеличению площади блокирования, что влечет за собой снижение ε [7,8].

При этом для моделирования процесса принято, что поверхностно-активными элементами в расплаве железа являются кислород [O] и сера [S], а содержание углерода [C] отсутствует.

Заметим, что нижняя кривая (рисунок 2) ограничивается концентрацией азота [N] = 0,01%. При этой концентрации завершается, по данным работы [9], контроль (лимитирование) тепломассопереноса азота в расплаве железа конвективной диффузией атомов азота в пузыри инертного газа. Для более низких концентраций лимитирование тепломассопереноса азота в жидкой ванне в силу прочности его молекул осуществляется актом молизации: $2[N] = \{N_2\}$, т.е. объединением двух атомов азота (в т.ч. ионизированных) в нейтральную молекулу, которая, отрываясь от поверхности «металл-вакуум» в условиях вакуумирования, удаляется в вакуум-камеру.

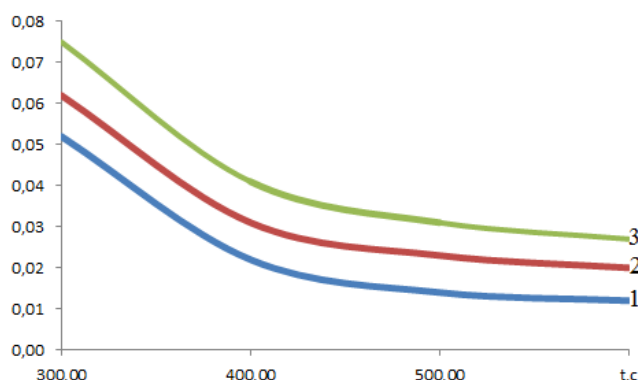


Рис. 2. Зависимость концентрации азота в расплаве железа в зависимости от времени продувки с момента завершения выпуска металла из плавильного агрегата в ковш [O] = 0,03%; [C] = 0,00%; 1 – [S] = 0,01%; 2 – [S] = 0,03%; 3 – [S] = 0,05%

Если тепломассоперенос атомов азота в жидкой ванне лимитируется реакцией молизации на межфазной поверхности, то можно записать [10]:

$$\frac{dc}{d\tau} = -\left(\frac{F}{V}\right) \cdot k_0 \cdot c^2, \quad (2)$$

где знак минус означает уменьшение во времени средней по объему V расплава концентрации в нем азота ($dc/d\tau < 0$).

Учитывая, что выделение азота из жидкой ванны происходит как в пузыри аргона, так и через поверхность «вакуум-металл», получаем, интегрируя уравнение (2):

$$\frac{1}{c(\tau)} - \frac{1}{c_0} = \left[\left(\frac{F_{Ar}}{F_0}\right) \cdot k_{0,Ar} + \left(\frac{F_E}{F_0}\right) \cdot k_{0,E} \right] \cdot \tau / H, \quad (3)$$

где c_0 – начальная концентрация азота в расплаве; F_{Ar}, F_0, F_E – площади поверхностей «аргон-металл», «вакуум-металл» и части F_0 , занимаемой сгустком ионов азота [1], соответственно; $k_{0,Ar}$ и $k_{0,E}$ – константы скорости реакции молизации.

В этом соотношении:

$$V = F_0 \cdot H_0. \quad (4)$$

Константы скорости реакции молизации, как известно, трудно поддаются теоретическому расчету приемлемой точности и поэтому определяются экспериментально в конкретных условиях [11]. Таким образом, следуя известной классификации [12], математическая модель, на основе которой исследуется процесс

тепломассопереноса атомов азота в расплаве, относится к смешанному типу (в отличие от детерминированных моделей).

Значение параметра F_{Ar} , как известно, зависит от интенсивности продувки металла аргоном и диаметра пор продувочного устройства.

Параметр F_E определяется напряженностью электростатического поля и степенью ионизации атомов азота в поверхностном слое межфазной поверхности «вакуум-металл» [1].

Оценим соотношение слагаемых правой части равенства (3), то есть исследуем возможность выполнения равенства:

$$F_{Ar} \cdot k_{0,Ar} = F_E \cdot k_{0,E}, \quad (5)$$

которое запишем в виде:

$$\frac{k_{0,E}}{k_{0,Ar}} = \frac{F_{Ar}}{F_E}. \quad (6)$$

При интенсивной продувке жидкой ванны аргоном [13]:

$$F_{Ar} \gg F_E. \quad (7)$$

Возможно ли в реальных условиях выполнение неравенства:

$$k_{0,E} \gg k_{0,Ar}. \quad (8)$$

Как показывают оценки, величина суммарной площади F_{Ar} поверхности пузырьков аргона при интенсивной продувке расплава в 10 и более раз превышает площадь F_E при которой на поверхности «вакуум-металл» формируются сгустки ионов азота вследствие воздействия на эту поверхность электростатического поля [13].

Скорость реакции молизации прямо пропорциональна квадрату концентрации атомов (в том числе ионизированных) удаляемого газа из расплава железа на поверхности «вакуум-металл» [11].

Таким образом, увеличивая напряженность внешнего поля ($E < E_{кр}$) и тем самым, через нее концентрацию ионов азота в сгустке, можно добиться их концентрации такой величины (особенно в расплавах тугоплавких металлов с высокой степенью ионизации атомов азота), возведение во вторую степень которой, обеспечит выполнение неравенства (8).

В процессе дегазации жидкого металла концентрация азота на заключительном этапе технологии может стать столь малой (экспериментальные данные по этой концентрации азота отсутствуют), что сопротивление как молизационного звена так и диффузионного теплопереноса азота становится очень большим.

В этих условиях (без участия электростатического поля) процесс дегазации жидкого металла практически блокируется. И только подключение рассматриваемого внешнего воздействия на поверхность «вакуум-металл» (электростатическое поле, как известно, внутрь объема жидкой ванны не проникает) обеспечит продолжение дегазации расплава до более низких значений концентрации азота. При этом момент подключения электростатического поля должен происходить не ранее наступления молизационной (кинетической) стадии лимитирования теплопереноса атомов азота в металле. Соблюдение этой рекомендации экономит энергоресурсы источника внешнего поля, является фактором энергоресурсосбережения.

Учитывая отмеченную выше квадратичную зависимость константы скорости реакции молизации: $2[N] = \{N_2\}$ от концентрации атомов азота (в том числе

ионизированных) на межфазных поверхностях «аргон-металл» и «вакуум-металл», можно записать, в соответствии с законом Сиверта и работой [1]:

$$k_{0,Ar} = \gamma_1 \cdot [N]_{n,Ar}^2 = \gamma_1 \cdot k_N^2 \cdot P_{N_2}^{Ar}. \quad (9)$$

$$k_{0,E} = \gamma_2 \cdot [N]_{n,V}^2 = \gamma_2 \cdot k_N^2 \cdot P_{N_2}^E [(1 - i) + i \phi(r)]^2. \quad (10)$$

Здесь: $[N]_{n,Ar}$, $[N]_{n,V}$ – концентрации атомов азота (в том числе ионизированных) на этих поверхностях; $P_{N_2}^{Ar}$, $P_{N_2}^E$ – парциальное давление азота в пузырях аргона и вакуум-камере; γ_1, γ_2 – константы подлежащие определению.

Учитывая, что γ_1 и γ_2 характеризуют одну и ту же реакцию молизации при практически одинаковой температуре металла в рассматриваемом приближении принимаем: $\gamma_1 = \gamma_2$.

Разделив уравнение (10) на (9), имеем:

$$k_{0,E} = k_{0,Ar} \cdot \left(\frac{P_{N_2}^E}{P_{N_2}^{Ar}} \right) [(1 - i) + i \phi(r)]^2. \quad (11)$$

При этом, для расплава железа в соответствии с работой [10]:

$$k_{0,Ar} = \frac{0,9745}{1 + 28,4[O] + 5,34[S]}. \quad (12)$$

На рисунке 3 показана полученная в результате моделирования зависимость концентрации азота в металле от времени его комплексной обработки продувкой аргоном и электростатическим полем докритической напряженности в области рассматриваемого молизационного лимитирования тепломассопереноса азота в жидкой ванне.

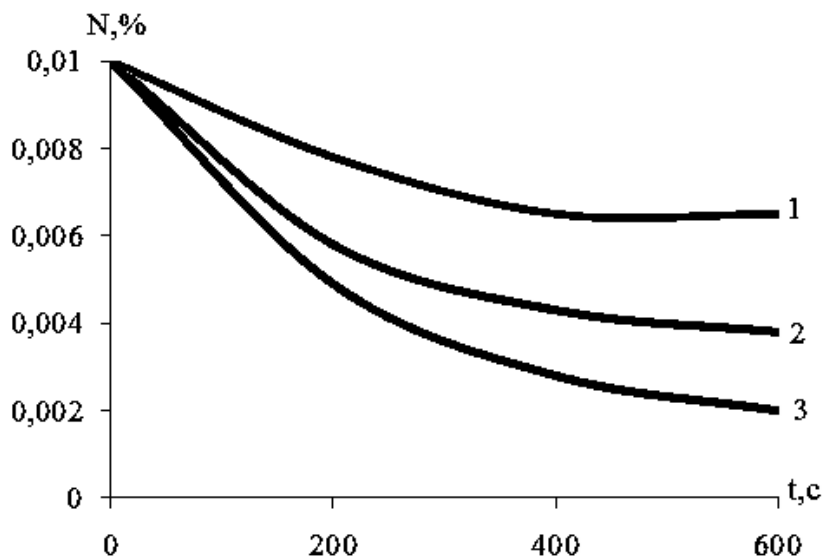


Рис. 3. Зависимость концентрации азота в железе от времени его обработки и степени ионизации атомов удаляемого газа $\frac{F_{Ar}}{F_0} = 10$; $\frac{F_E}{F_0} = 0,25$; $[N]_0 = 0,01\%$ $H = 1,0\text{м}$; $[O] = 0,03\%$; $[S] = 0,03\%$; $E = 0,1 \text{ МВ/м}$; $P_{N_2}^E = P_{N_2}^{Ar}$; 1 – $i = 0,25$; 2 – $i = 0,50$; 3 – $i = 0,75$

Как следует из графика, увеличение степени ионизации атомов в расплаве позволяет добиться более низких значений концентрации азота в жидкой ванне в конце

обработки, что имеет существенное значение для получения качественного металла ответственного назначения.

Отметим что в соответствии с результатами работы [1], наложение электростатического поля докритической напряжённости на межфазную поверхность «вакуум – металл» с источником поля в вакуум-камере приводит к интенсификации тепломассопереноса азота в вакуум-камеру за счёт повышения скорости указанной выше реакции молизации.

Механизм этого эффекта состоит в формировании этим полем области повышенной концентрации (сгустка) ионизированной части атомов азота находящихся в состоянии непрерывного перераспределения при движении расплава.

Перемещение электрического заряда сгустка по поверхности расплава вызывает электрический ток, величина которого прямо пропорциональна скорости движения этого металлического проводника и увеличивается при росте напряжённости рассматриваемого поля, что показано в работе [1] с твёрдым металлическим проводником.

Проведем оценку плотности электрического тока (интенсивности электропереноса) в условиях этого эффекта и электромагнитной индукции для твёрдого проводника.

Пусть плоский металлический проводник прямоугольной формы движется со скоростью v в стационарном магнитном поле. При этом предположим, что линии индукции этого поля направлены вертикально сверху вниз, а вектор скорости проводника составляет прямой угол и с осью (медианой) проводника и с направлением вектора индукции магнитного поля, т.е. проводник движется поперек поля (рис.4).

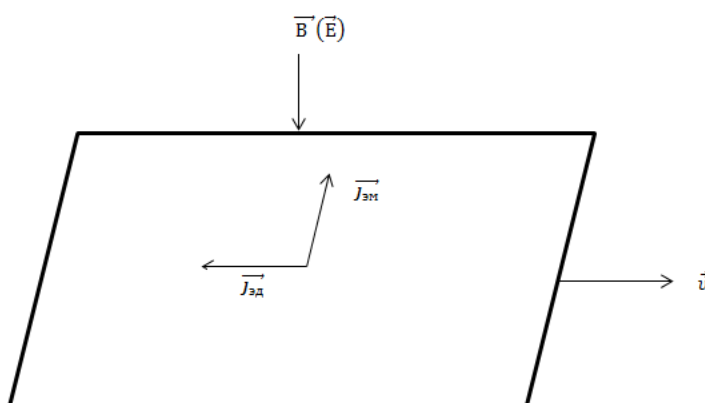


Рис. 4. Схема плоского металлического проводника при его перемещении в стационарных магнитном и электростатическом полях

В этих условиях плотность электрического тока может быть выражена соотношением [14]:

$$j_{эм} = B \cdot v / \sigma, \quad (13)$$

где B – индукция магнитного поля на внешней поверхности проводника; v – скорость проводника; σ – его удельное электрическое сопротивление.

В условиях рассматриваемого эффекта:

$$-j_{эд} = (\rho - \rho_0) \cdot v, \rho(E) > \rho_0, \quad (14)$$

где "эм" и "эд" – индексы, характеризующие электромагнитный и электродинамический процессы; ρ, E – локальные в сгустке плотность электрического

заряда электронов проводимости в поверхностном слое металлического проводника и напряженность внешнего поля; знак "-" в левой части соотношения показывает противоположную направленность векторов $j_{эд}$ и v .

Объемная плотность заряда "электронного газа" в отсутствии воздействия на проводник внешнего электростатического поля ($E=0$): $\rho=\rho_0$. Поэтому $j_{эд}=0$.

Учитывая вышеизложенное, имеем:

$$(j_{эм}/j_{эд}) = \frac{1}{\sigma \cdot \rho_0} \cdot \frac{V}{f(E)}, \quad (15)$$

где:

$$f(E) = (\rho/\rho_0 - 1), \quad (16)$$

Здесь $f(E)$ – возрастающая функция напряженности внешнего электростатического поля, принимающая положительное значение в области сгустка электронов проводимости ($\rho > \rho_0$), перемещение которого и вызывает электрический ток.

Итак, соотношение локальной плотности электрического тока при раздельном воздействии на металлический проводник стационарных магнитного и электрического полей определяется отношением их силовых характеристик (V, E), зависит от вида металла (через σ, ρ_0) и не зависит от скорости перемещения проводника. При этом направление ($j_{эм}, j_{эд}$) в рассматриваемых условиях перпендикулярны друг другу. В качестве σ в формуле (15) берется среднее значение удельного электрического сопротивления в этих направлениях.

Прохождение электрического тока через металлический проводник приводит к выделению теплоты Джоуля-Ленца, обусловленной увеличением скорости хаотического теплового движения электронов проводимости и более интенсивным колебаниям ионов кристаллической решетки [14]. При этом локальная мощность тепловыделения:

$$P = j_{эд}^2 \cdot R = (j_{эд} \cdot S)^2 \cdot R, \quad (17)$$

где S – площадь части поперечного сечения проводника, охваченная электрическим током; R – его электрическое сопротивление в направлении генерации электрического тока.

Таким образом, имеем:

$$P = (\rho_0 \cdot f \cdot v \cdot S)^2 \cdot R. \quad (18)$$

Соотношение (18) определяет тепловое состояние металлического проводника и может участвовать в различных практических расчетах.

Выводы. Выявлены следующие факторы энергоресурсосбережения при интенсификации процессов тепломассопереноса в условиях внепечной дегазации жидкого металла от растворённого в нём азота: 1) снижение интенсивности продувки расплава аргоном до уровня оптимума в первый период технологии, что экономит аргон; 2) подключение электростатического поля с источником в вакуум-камере лишь после достижения концентрации азота в жидкой ванне величиной, с которой начинается лимитирование тепломассопереноса атомов азота в расплаве кинетическим актом: $2[N] = \{N_2\}$.

Определены характеристики как процессов теплопереноса, влияющие на их интенсификацию, так и электрического тока, формируемого при движении металлического проводника в рассматриваемом внешнем поле.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Захаров Н. И. К вопросу о постановке граничного условия для уравнения массопереноса азота в металле при одновременном воздействии на расплав вакуума и электростатического поля докритических напряженностей / Н. И. Захаров, А. Б. Бирюков, И. В. Тупилко // Проблемы черной металлургии и материаловедения. – 2018. – № 1. – С. 26-29.
2. Фромм Е. Газы и углерод в металлах / Е. Фромм, Е. Гебхардт. – Москва : Металлургия, 1980. – 712 с.
3. Захаров Н. И. Математическое моделирование процессов массопереноса при внепечной дегазации металла всплывающими пузырями инертного газа / Н. И. Захаров, Ф. В. Недопёкин, А. И. Троцан // Инженерно-физический журнал. – 2005. – Т. 78, № 3. – С. 68-71.
4. Masamitsu T. Rate of nitrogen desorption the molten iron by argon flowing / T. Masamitsu, M. Hiromu, S. Masamichi // The Iron and Steel Institute of Japan. – 1986. – Vol. 72, № 3. – P. 419-423.
5. Захаров Н. И. Физическая модель диффузионного взаимодействия пузырей аргона с металлом / Н. И. Захаров, И. В. Волкова // Инженерно-физический журнал. – 2017. – Т. 90, № 4. – С. 1036-1039.
6. Рафинирование стали инертным газом / К. П. Баканов, И. П. Бармотин, Н. Н. Власов [и др.] ; под редакцией А. Ф. Каблуковского. – Москва : Металлургия, 1975. – 232 с.
7. Левич В. Г. Физико-химическая гидродинамика / В. Г. Левич ; редакция А. Н. Фрумкин ; Академия наук СССР, Институт физической химии. – Москва : Изд-во Акад. наук СССР, 1952. – 537 с.
8. Линчевский Б. В. Термодинамика и кинетика взаимодействия газов с жидкими металлами / Б. В. Линчевский. – Москва : Металлургия, 1986. – 167 с.
9. Kazuo A. Kinetic of nitrogen desorption the molten iron / A. Kazuo, I. Koin, S. Hiroshi // The Iron and Steel Institute of Japan. – 1976. – Vol. 62, № 9. – P. 1179-1188.
10. Shizo B. Rate of nitrogen desorption the molten iron / B. Shizo, S. Tadahiro, T. Hideo // The Iron and Steel Institute of Japan. – 1974. – Vol. 6, № 10. – P. 1443-1453.
11. Явойский А. В. Кинетические особенности дегазации расплавов на основе железа / А. В. Явойский, В. И. Явойский, С. П. Терзник // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 1981. – № 7. – С. 5-8.
12. Захаров Н. И. Математические модели и методы численного моделирования теплофизических процессов / Н. И. Захаров, С. В. Гридин. – Донецк : Цифровая типография, 2017. – 192 с.
13. Захаров Н. И. Энергоресурсосбережение при рафинировании жидкого металла от газов : монография / Н. И. Захаров, А. А. Троянский, А. И. Троцан. – Мариуполь : ПГТУ, 2015. – 189 с.
14. Селезнев Ю. А. Основы элементарной физики / Ю. А. Селезнев. – Москва : Наука : Физматлит, 1974. – 544 с.

Поступило в редакцию 23.04.2020г.

ENERGY AND RESOURCE SAVING UNDER CONDITIONS OF INTENSIFICATION OF HEAT AND MASS TRANSFER PROCESSES DURING LIQUID METAL FROM NITROGEN DISSOLVED IN IT WITH COMPLEX EXPOSURE

Zaharov N.I., Birukov A.B., Tupilko I.V., Shatovich V.A.

Processes of heat and mass transfer in liquid metal are considered, in which nitrogen is soluble, in case of melt degassing in the following process chain: a) metal discharge from melting furnace into ladle (refining vessel) with porous bottom, through which melt is blown with argon at atmospheric pressure under slag layer; B) continuing blowing after filling the ladle with metal to a certain nitrogen concentration in the liquid bath; C) complex action on metal (after slag loading) by vacuum, argon blowing, and electrostatic field of precritical stresses. The study of intensification of heat and mass transfer processes (in general, in case of uneven distribution of temperature by melt volume) is a step to increase the efficiency of out-of-furnace metal treatment from the position of energy saving. The heat power of the electric current generated during melt movement in the considered external field was estimated.

Keywords: energy saving, heat and mass transfer, liquid metal, nitrogen, mathematical model, thermal power.

Захаров Николай Иванович

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

Zakharov Nikolay Ivanovich

Doctor of Science, professor of technical thermophysics department, Donetsk National Technical University. DPR, Donetsk.

Бирюков Алексей Борисович

доктор технических наук, профессор кафедры «Техническая теплофизика» ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», ДНР, г. Донецк.
E-mail: birukov.ttf@gmail.com

Birukov Alexei Borisovich

Doctor of Science, professor of technical thermophysics department, Donetsk National Technical University. DPR, Donetsk.

Тупилко Ирина Владимировна

аспирант кафедры «Техническая теплофизика» ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», ДНР, г. Донецк.

Tupilko Irina Vladimirovna

Graduate student of technical thermophysics department, Donetsk National Technical University. DPR, Donetsk.

Шатович Виктория Алексеевна

магистрант кафедры «Техническая теплофизика» ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», ДНР, г. Донецк.
E-mail: shatovichviktoria23@gmail.com

Shatovich Victoria Alekseevna

Master's of technical thermophysics department, Donetsk National Technical University. DPR, Donetsk.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА И ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА



УДК 66.065+504

ЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ ДЕСТАБИЛИЗАЦИИ ОТРАБОТАННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ МАСЕЛ В ПРОЦЕССАХ ИХ ОЧИСТКИ ОТ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ И ВОДЫ

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

Отработанные технические масла (ТМ) представляют собой полукolloидные углеводородные растворы, в которых одновременно находятся молекулы, ион-радикалы, а также комплексы различной природы и дисперсности. Такого рода системы, согласно законам термодинамики, обычно стремятся самопроизвольно уменьшать свободную энергию путем укрупнения частиц. Однако, как показывает практика, в большинстве случаев (особенно для технических масел с различного рода присадками) такие процессы не происходят. К большому сожалению, на сегодняшний день нет высокоэффективных технологий по дестабилизации гетерогенных углеводородных систем. Это является одной из причин, которые сдерживают создание доступных, экономически обоснованных, экологически безопасных технологий по очистке и утилизации отработанных технических масел. Настоящая статья посвящена систематизации результатов многолетних теоретических и экспериментальных исследований механизма дестабилизации гетерогенных углеводородных систем с применением модифицированных коагулянтов и флокулянтов, которые были получены в Донецком национальном университете.

Ключевые слова: дестабилизация, гетерогенная углеводородная жидкость, модифицированные коагулянты и флокулянты, очистка, отработанные технические масла.

Состояние проблемы. Загрязнённые нефтепродукты, к которым в первую очередь следует отнести нефтяные масла, представляют собой полукolloидные растворы, в которых одновременно находятся молекулы, ион-радикалы, а также комплексы различной природы и дисперсности. Согласно законам термодинамики [1], такого рода системы, стремятся самопроизвольно уменьшить свободную энергию путём укрупнения частиц. Однако этому препятствуют стабилизирующие компоненты, которые находятся в углеводородных системах. К таким компонентам прежде всего относятся вещества, которые либо изначально имеются в нефтепродуктах, либо те, которые вводятся в виде присадок.

В случае уменьшения стабилизирующего воздействия компонентов система теряет устойчивость. При этом в чистых нефтепродуктах начинают коагулировать мицеллы компонентов присадок, а в загрязнённых - одновременно и механические примеси, которые присадка стабилизирует.

Дестабилизация ТМ, модифицированных присадками. На агрегативную стабильность гетерогенных углеводородных систем с присадками оказывают влияние два основных фактора: температура и загрязняющие химические реагенты, которые снижают эффективность диспергирующих присадок. В случае правильного подбора этих факторов (по отдельности или в оптимальном сочетании) можно добиться ситуации, в которой загрязняющие углеводородную жидкость механические частицы коагулируют, образуя с присадкой губчатую массу.

В качестве объектов исследований в настоящей работе были использованы три физические модели гетерогенных углеводородных систем, которые представляют собой загрязнённые (отработанные) нефтяные масла. Такой выбор обоснован реальными условиями загрязнения нефтяных масел в различных условиях эксплуатации: дизельные, моторные для двигателей внутреннего сгорания, а также разновидности промышленных масел.

Две первые физические модели характеризуются высоким содержанием диспергирующих присадок типа нефтяных сульфонатов кальция (или бария). При этом следует заметить, что в этих моделях отличается также природа и характер загрязнений:

– в дизельных маслах (*первая физическая модель*) — это сажистые мелкодисперсные частицы, смолы, вода и топливные фракции;

– в моторных маслах (*вторая физическая модель*) — это механические примеси илистой природы, смолы, синтетические масла, вода и бензиновые фракции;

– в промышленных маслах (*третья физическая модель*) – это механические примеси металлического происхождения, смолы и вода.

Различная природа загрязнений, наличие (или отсутствие) стабилизирующих присадок требуют и различного подхода к дестабилизации этих многокомпонентных углеводородных систем. Оценка интенсивности процесса коагуляции и определение температурного интервала, в котором он протекает, могут быть получены в методе, который основан на оценке дисперсности механических примесей, т.к. в этом случае определяется способность углеводородной системы (например, масла) поддерживать во взвешенном состоянии продукты неполного сгорания топлива (смолы и механические примеси).

В ходе выполнения настоящей работы был использован метод капельной пробы. Этот метод заключается в том, что исследуемую пробу (исходную или обработанную дестабилизирующими реагентами) нагревают до определённой температуры (в интервале $70-180^{\circ}\text{C}$), отбирают капельные пробы, наносят их на фильтровальную бумагу и высушивают при температуре 180°C . Для проверки и подтверждения численных результатов, полученных по данной методике, применяли также микроскопический анализ капель углеводородных (масляных) суспензий во времени ($0-60$ минут) и центрифугирование в течение 15 минут при скорости вращения ротора центрифуги равной 3000 об/мин.

После завершения процесса растекания и высыхания капли исследуемого образца на фильтровальной бумаге образуются три хорошо различимые зоны.

Первая зона (центральное ядро) представляет собой круг чёрного цвета. Этот круг образован крупными, слабодиспергированными частицами, которые задержались в порах бумаги сразу после нанесения капли.

Вторая зона (кольцо серого цвета) представляет собой зону диффузии, которая образовалась перемещением по фильтру с жидкой фазой мелкодисперсных загрязнений.

Третья зона – кольцеобразный светлый ореол, образована отфильтрованным чистым маслом. Следует заметить, что эта зона, в большинстве случаев, самая большая по площади.

В качестве определяющего параметра дисперсности загрязняющих веществ целесообразно использовать размеры кольца серого цвета.

Многочисленными исследованиями установлено, что диспергирующая способность компонентов углеводородной среды, присадок и реагентов является неэффективной при значениях относительного показателя

$$k=D/d \geq 3.$$

Здесь D -диаметр зоны растекания капли исследуемой углеводородной жидкости, d -диаметр зоны загрязнения.

Для определения условий и выявления механизма удаления загрязнений из углеводородных жидкостей следует пользоваться именно этим критерием. При этом следует особо отметить, что агрегативная устойчивость суспензии (гетерогенной системы) считается нарушенной при значениях относительного показателя $k \gg 3$.

В процессе выполнения настоящей работы изучены условия дестабилизации реальных углеводородных систем (загрязнённых дизельных, моторных, промышленных масел), а также модельных гетерогенных систем (суспензий). Последние были приготовлены на чистых маслах, где в качестве примеси использована ламповая сажа в количестве $0,5 \text{ вес. } \%$, с последующим диспергированием полученной суспензии ультразвуком частотой 20 кГц в течении 2 часов.

В реальных углеводородных системах (загрязнённых технических маслах) оценено остаточное количество диспергирующих присадок. В основу метода исследований положен ГОСТ 9899-61 на многофункциональную присадку ВНИИ НП-360. При этом, в процессе определения содержания и состава присадок соли кальция, бария, цинка переводятся в водную фазу, где и определяется их количество.

Анализ реальных дисперсий дизельных масел (типа М14В₂) показал, что остаточное содержание диспергирующих присадок составляет $0,10 \div 0,12 \text{ \% масс.}$ Это позволяет сделать вывод, что $50 \div 54 \text{ вес. } \%$ присадок выведены из рабочего состояния за счёт угара или разложения в процессе эксплуатации.

Дополнительные хроматографические исследования на фильтровальной бумаге, микроскопический анализ и центрифугирование нагретых до $60-70 \text{ }^\circ\text{C}$ образцов показали, что этого количества диспергирующих присадок вполне достаточно для сохранения агрегативной устойчивости суспензии.

Исходя из строения молекул диспергирующих присадок (алкилбензолсульфонаты кальция, бария), предложен способ снижения их активности в гетерогенных углеводородных системах путём изменения кислотности среды и разрушения мицеллярных структур. Результаты проведенных исследований показывают, что предложенный реагент - алкилбензолсульфокислота позволяет достичь этих эффектов одновременно в интервале соотношений (присадка: сульфокислота) от 1:1 до 1:10. Обработка исследуемых образцов центрифугированием показала, что агрегативная устойчивость в исследуемых образцах полностью не исчезает, так как образование крупных агрегатов из тонкодисперсных механических примесей не наблюдается. Однако хроматографические исследования на фильтровальной бумаге указывают на изменение структуры углеводородной дисперсии, а именно на изменение строения мицелл. При этом величина относительного показателя $k \approx 3$.

В таких условиях, вероятно, происходит десорбция присадок с развитой поверхности сажистых частиц и вторичная адсорбция на них сульфокислот, особенно при их избыточном количестве – 1:7, 1:8, 1:9, 1:10.

Для полного нарушения агрегативной устойчивости модифицированных сульфокислотами механических примесей была проведена нейтрализация комплекса «кислота - сажистая частица» с помощью органических щелочей - различных аминоспиртов (моно-, ди-, триэтанолamina). При этом эквимолекулярное количество (по отношению к сульфокислоте) аминоспирта также оказывает двойное действие: нейтрализует сульфокислоту на поверхности сажистой частицы и коагулирует образовавшийся нейтральный комплекс.

Полное нарушение устойчивости углеводородной суспензии подтверждается статистическим методом (термоотстой обработанной реагентами суспензии в интервале температур 40-80 °С и кинетическим методом (центрифугирование образцов при той же температуре). Микроскопические наблюдения за каплей обработанной суспензии показали, что кинетический процесс разрушения за 30 минут проходит на 80 %, за 4 часа - на 90 %, за 10 часов - на 100 %. При этом в исследуемых образцах полностью исчезают неагрегированные сажистые частицы с размером 1-5 мкм и образуются агрегаты от 50 до 200 мкм, которые самопроизвольно осаждаются в нагретом до 40-80 °С масле.

Исследования образцов различных моторных масел показали, что на кинетику процесса агрегации влияет наличие и процентное содержание воды (несвязанной и связанной), вязкость углеводородной среды, наличие в ней топливных фракций и синтетических масел. Последние влияют на время осаждения агрегированных загрязнений. При этом установлено, что в образцах, содержащих большее количество топлива, время осаждения мехпримесей значительно возрастает.

Особый интерес представляют результаты экспериментальных исследований по влиянию содержания воды на образование и осаждение агрегатов из загрязняющих примесей. Так, например, установлено, что увеличение содержания связанной воды больше 2 % масс (что вполне реализуемо при большом содержании присадок) требует дополнительного введения аминоспиртов, которые растворяют ее (воду) в своих мицеллах и осаждают в отдельных от механических примесей агрегатах. Отдельное осаждение водных агрегатов подтверждается термообработкой скоагулированных осадков после их отделения от основного объема углеводородной среды. При этом вода легко выделяется из этого осадка.

Дестабилизация промышленных масел. Отсутствие в большинстве промышленных масел присадок, стабилизирующих тонкодисперсные мехпримеси и воду, стало причиной создания иного подхода к способу нарушения агрегативной устойчивости системы «масло – мехпримеси - вода». Коагуляция воды из такой системы происходит также при подкислении. Однако использование сульфокислот не всегда рационально по причине иного строения коллоидных агрегатов. Проведенные экспериментальные исследования показали, что желаемого результата можно достичь только двухэтапной обработкой углеводородной системы серной кислотой. При этом на первом этапе происходит дегидратация агрегатов, а при повторной обработке (после удаления воды и части кислых продуктов), механические загрязнения совместно со смолистыми полимерными компонентами образуют крупные агрегаты, которые самопроизвольно осаждаются из углеводородной среды. Следует отметить, что образование таких агрегатов подтверждено всеми тремя методами исследований – бумажной хроматографией, микроскопическим анализом и центрифугированием.

Оставшиеся после осаждения микрочастицы обладают повышенной устойчивостью в связи с тем, что при кислотной обработке образуются поверхностно-активные компоненты (аналоги диспергирующих присадок).

Изучение ряда вариантов нарушения этой стабильности (термоотстой, центрифугирование, реагентная обработка) показало, предпочтение последнего. При этом из ряда реагентов (органические и неорганические щелочи) оптимальные результаты получены с аминоспиртами. Даже минимальные добавки таких веществ (от 0,1 до 1,0 вес. %) позволяют не только скоагулировать твердые микрочастицы и смолы, но и нейтрализовать все кислые поверхностно-активные вещества (ПАВ), переводя их в водорастворимые. При этом такие ПАВ в масле нерастворимы.

Знание механизма разрушения углеводородных суспензий позволяет в свою очередь прогнозировать дальнейшее использование полученных в процессе очистки углеводородных жидкостей. Анализ остаточного содержания диспергирующих присадок в очищенных дизельных маслах показал, что их количество колеблется в пределах 30-50 % от исходного значения. В свете вышеизложенного возможен вариант их использования в качестве смазывающего масла (при условии доведения присадок) в качестве гидравлических жидкостей или в качестве сырья для приготовления новых смазочных материалов.

Наличие оставшихся после очистки присадок существенно влияет на введение в углеводородную жидкость диспергаторов другого класса, уменьшая эффективность их действия. Это приводит к трудностям создания на основе очищенных жидкостей различных смазочных материалов, в которых применяются диспергаторы. Этим недостатком лишена углеводородная жидкость, полученная после очистки промышленных масел, не имеющих присадок.

Таким образом, используя результаты исследований по очистке загрязненных технических масел, как физических моделей стабильных коллоидных структур, можно разработать механизм и методы их дестабилизации с получением чистых углеводородных дисперсионных сред.

Выводы. На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований процесса дестабилизации углеводородных систем, с использованием модифицированных коагулянтов и флокулянтов, можно сделать следующие выводы.

1. На агрегативную стабильность гетерогенных углеводородных систем оказывают влияние два основных фактора: температура и химические реагенты, которые снижают эффективность диспергирующих присадок. В случае правильного подбора этих факторов (по отдельности или в оптимальном сочетании) можно добиться ситуации, в которой загрязняющие углеводородную жидкость механические частицы коагулируют, образуя с присадкой губчатую массу.

2. Агрегативная устойчивость загрязненных углеводородных систем, в основном, обеспечивается наличием диспергирующих присадок. Это подтверждается исследованиями реальных углеводородных систем (загрязненных дизельных, моторных, промышленных масел), а также модельными гетерогенными системами (чистые масла с добавкой 0,5 вес. % ламповой сажи, диспергированной ультразвуком).

3. Экспериментально установлено, что снизить активность диспергирующих присадок в гетерогенных углеводородных системах, в т.ч. в отработанных ТМ, можно путем изменения кислотности среды и разрушения мицеллярных структур. Этот результат частично достигается введением в очищенную систему алкилбензол-сульфокислоты в интервале соотношений (диспергирующая присадка: сульфокислота) от 1:1 до 1:10.

4. Полное нарушение агрегативной устойчивости модифицированных сульфокислотами механических примесей достигается путем введения органических щелочей - различных аминоспиртов (моно-, ди-, триэтанолamina). При этом эквивалентное количество (по отношению к сульфокислоте) аминоспирта нейтрализует сульфокислоту на поверхности загрязняющей частицы и коагулирует образовавшийся нейтральный комплекс.

5. Микроскопические наблюдения обработанной при температуре 40-80 °С реагентами модельной суспензии показали, что кинетический процесс разрушения за 30 минут происходит на 80 %, за 4 часа – на 90 %, за 10 часов - на 100 %. При этом в исследуемых образцах полностью исчезают неагрегированные загрязняющие частицы с размером 1-5 мкм и образуются агрегаты с размером от 50 до 200 мкм, которые самопроизвольно осаждаются в поле сил тяжести при температуре 40-80 °С.

6. На кинетику процесса агрегации загрязняющих частиц существенное влияние оказывают: наличие и процентное содержание воды; вязкость углеводородной среды; наличие топливных фракций и синтетических масел. Так, например, установлено, что при увеличении содержания топливных фракций время осаждения скоагулированных мехпримесей значительно возрастает. Увеличение содержания связанной воды (больше 2 % масс.) требует дополнительного введения аминоспиртов, которые растворяют ее (воду) в своих мицеллах и осаждают в отдельных от механических примесей агрегатах.

7. В отработанных маслах без диспергирующих присадок для нарушения агрегативной устойчивости следует использовать иной подход, т.к. образованные в них агрегаты имеют другое строение. Для дестабилизации таких углеводородных систем необходимо использовать двухэтапную их обработку серной кислотой. При этом на первом этапе происходит дегидратация агрегатов, а на втором (после удаления воды и части кислых продуктов) мехпримеси совместно со смолистыми полимерными компонентами образуют крупные агрегаты, которые самопроизвольно осаждаются, очищая углеводородную среду. Этот результат подтвержден тремя способами исследований – бумажной хроматографией, микроскопическим анализом и центрифугированием.

8. Разработанный способ дестабилизации гетерогенных углеводородных систем подтверждает правильность выбора композиционных реагентов, использованных авторами работ [2-6], для очистки отработанных дизельных и промышленных масел.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фридрихсберг, Д. А. Курс коллоидной химии / Д. А. Фридрихсберг. – Ленинград : Химия, 1984. – 368 с.
2. Симоненко, А. П. Эффективный способ очистки отработанных дизельных масел М14В₂ / А. П. Симоненко, Н. Б. Узденников // Вісник Донбаської державної академії будівництва и архітектури. – 2001. – Вип. 2 (27). – 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. Узденников, Н. Б. Изучение процессов коагуляции при очистке отработанных моторных масел / Н. Б. Узденников // Вісник Донецького університету. Сер.А: Природні науки. – 2001. – № 1. – С. 278-280.
5. Патент № 391457 Україна, С10М, 175/00, 175/02. Засіб регенерації відпрацьованого мастила : опубл. 15.06.2001 / Симоненко О. П., Узденников М. Б. – Бюл. № 5.
6. Декларацийний патент на винахід. Україна, 34719А6С10М, 175/02. Засіб очищення відпрацьованого моторного мастила від суспензованих механічних домішок та води : опубл. 15.03.2001 / Симоненко О. П., Узденников М. Б., Симоненко В. П. – Бюл. № 2.

Поступило в редакцію 23.04.2020г.

THE EFFECTIVE METHOD OF DESTABILIZATION OF WASTE TECHNICAL OILS IN THE PROCESSES OF ITS CLEANING OF MECHANICAL IMPURITIES AND WATER

Simonenko A.P., Zolotaryova I.A., Klyuchko N.Yu.

Waste technical oils are semi-colloidal hydrocarbon solutions in which molecules, radical ions, and also complexes of various nature and dispersion are simultaneously present. Such systems, according to the laws of thermodynamics, usually tend to spontaneously reduce free energy by enlarging particles. However, as practice shows, in most cases (especially for technical oils with various additives), such processes do not occur. Unfortunately, there aren't highly effective technologies for destabilizing heterogeneous hydrocarbon systems today. This is one of the reasons restraining the creation of affordable, economically viable, environmentally friendly technologies for the cleaning and disposal of used technical oils. This article is devoted to systematization of the results of long-term theoretical and experimental researches of the mechanism of destabilization of heterogeneous hydrocarbon systems using modified coagulants and flocculants, which were obtained at Donetsk National University.

Keywords: destabilization, heterogeneous hydrocarbon liquid, modified coagulants and flocculants, cleaning, waste technical oils.

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

Zolotaryova 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

Klyuchko Nikita Yurevich

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

УДК 621.9.048.6:005.931.13:669

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВИБРООЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

© 2020 Лебедев В.А., Иванов В.В., Веснин В.Н.

Рассмотрены энергосиловые факторы очистки поверхностей деталей от загрязнений в вибрационных технологических системах, обеспечивающие технологический эффект процесса очистки и предложены зависимости для их определения. Раскрыты адгезионные связи загрязнений с поверхностью и установлено энергетическое условие их разрушения. Показано, что эффективность виброочистки зависит от динамической активности частиц рабочей среды и кавитационной активности технологической жидкости.

Ключевые слова: виброочистка, загрязнения, адгезия, рабочая среда, кавитация, технологическая жидкость.

Введение. Одним из условий эффективного решения реновационных задач является уровень развития технологии подготовительных операций, обеспечивающих качество и производительность ремонта, способность нахождения дефектов, качество восстановленных или комплектующих деталей и сборки агрегатов изделия, способность эксплуатации изделий, условия хранения, организации и подготовки изделия или их составных частей к дальнейшей утилизации. В перечень таких операций входят моечно-очистные, разборка, дефектовка среди которых очистные и моечные составляют значительную часть, общей трудоемкости, и оказывают существенное влияние на качество реновационных работ. Очистка металлических поверхностей от всевозможных загрязнений является сложной проблемой, успешное решение которой возможно лишь на основе глубоких научных исследований комплексного характера.

Целью настоящих исследований являлось установление энергосиловых факторов очистки поверхностей в вибрационных технологических системах, обеспечивающих технологический эффект процесса очистки и получение поверхностей требуемого качества.

Энергосиловые факторы виброочистки поверхностей. Удаление загрязнений — это всегда в той или иной мере затрата работы на отделение загрязнения от очищаемой поверхности. При этом задача сводится к преодолению сил сцепления между соприкасающимися телами, которые определяются энергией взаимодействия частиц на границе раздела этих тел.

В общем виде формула для вычисления работы A по отделению загрязнения от очищаемой поверхности [1]:

$$A = W \cdot S, \quad (1)$$

где W - работа отделения загрязнения от поверхности; S - поверхность контакта загрязнения с очищаемым телом.

В то же время, работа по отделению загрязнения складывается из работы разделения двух соприкасающихся фаз, отнесенной к единице поверхности раздела - работы адгезии W_a , работы на преодоление сил связи между частицами загрязнения W_d - сторонней работы, отнесенной к единице площади контакта т.е.:

$$A = Wa + Wd.$$

Работа Wd зависит как от очищаемого объекта (Загрязнения) так и конкретных условий обеспечения процесса очистки (температуры очищаемого объекта, температуры моющего раствора, pH, гранулометрических характеристика рабочей среды, концентрации ПАВ и т.д.). Работа адгезии, в свою очередь, будет определяться адгезионным взаимодействием между очищаемым объектом и загрязнением.

Загрязнения, образующиеся на поверхностях деталей и изделий с точки зрения адгезионного взаимодействия, могут быть трех видов: жидкости, пленки и частицы. Адгезионное взаимодействие загрязнений с поверхностью определяются методами количественной оценки этого взаимодействия при помощи адгезионной прочности. Адгезия жидкости, пленок и частиц может быть оценена по силе и работе, которые необходимо приложить для нарушения адгезионного взаимодействия, т.е. для отрыва [2]. Прочность адгезионных связей различных типов загрязнений (жидкостей, пленок, частиц) будет определяться свойствами межмолекулярного взаимодействия этих поверхностей [3]. Соответственно работа адгезии будет отличаться количественно для загрязнений, различных по своей природе.

Взаимодействие частиц с твердой поверхностью различают по их количеству: единичные частицы и слой.

Работа адгезии в случае единичной частицы:

$$W_a = F_{ст} \pi r_k^2, \quad (2)$$

где $F_{ст} = 2\pi\sigma^2$ - сила статического прилипания; σ - сила притяжения (плотность заряда) [3]; πr_k^2 - площадь контакта частицы с поверхностью.

В случае слоя частиц:

$$W_a = mg \sin a \cdot S, \quad (3)$$

где m - масса слоя частиц; α - угол наклона поверхности; S – фактическая площадь контакта.

В свою очередь адгезия частиц различается в воздушной (газовой) и жидкой средах. Если высота слоя жидкости в зазоре между контактирующими телами превышает высоту мениска, образующегося при смачивании соприкасающихся тел, то адгезия рассматривается как жидкостная [3].

Удаление жидкостных загрязнений с поверхности нельзя осуществить теми методами, которые применяются в случае адгезии частиц, т.е. путем приложения внешней силы, превышающей адгезионное взаимодействие [2]. Под действием силы происходит деформация жидкости и изменение площади ее контакта с поверхностью.

Для жидкостей на поверхности твердого тела основной характеристикой силы адгезионного взаимодействия является поверхностное натяжение, а для твердого тела – смачиваемость, характеризующаяся краевым углом смачивания. Работу адгезии жидкости можно рассчитать по формуле, предложенной в работе [4]:

$$W_a = \sigma_{ж}(1 + \cos \theta), \quad (4)$$

где $\sigma_{ж}$ - поверхностное натяжение жидкости; θ - краевой угол смачивания твердой поверхности.

Поверхностное натяжение $\sigma_{ж}$ и краевой угол смачивания θ подлежат экспериментальному определению и могут быть достаточно точно измерены.

Адгезия пленок количественно определяется при помощи методов, основанных на отрыве пленок. Величина адгезии пленок не поддается точному расчету [1]. Работа, необходимая для отрыва может быть определена непосредственно экспериментально с учетом индивидуальных свойств материалов.

Если рассматривать процесс очистки как процесс замены одного вещества (загрязнения) другим (очищающим агентом) на одной и той же твердой поверхности под действием определенных сил, превышающих адгезионные силы, то при прочих равных условиях $W_d=0$, работа очистки должна быть больше работы адгезии:

$$W_a < W_o.$$

Обеспечить данную работу эффективно можно в условиях вибрационной обработки комплексным воздействием гранулированной рабочей среды и активной технологической жидкости [4]. При виброобработке очистка поверхностей (эрозия загрязнения), диспергирование твердых частиц и эмульгирование осуществляются, в основном, двумя характерными для неё эффектами: ударно-импульсным силовым воздействием твердых частиц рабочей среды и гидродинамической кавитацией, обусловленной акустическим воздействием ударных волн.

Рассмотрим влияние этих эффектов на процесс виброочистки от загрязнений поверхности деталей.

Скорость соударения частиц рабочей среды с обрабатываемой поверхностью деталей определяется по известной формуле [5]:

$$V_{ч.р.с} = V_{р.к} \cdot K_V, \quad (5)$$

где $V_{р.к}$ - скорость перемещения точки рабочей камеры; K_V - коэффициент потери скорости, $K_V = 0.9877^l$; l - расстояние от стенки рабочей камеры до рассматриваемой точки (частицы среды).

Функциональная зависимость усилий динамического воздействия частиц рабочей среды на поверхность обрабатываемых деталей от условий проведения процесса описывается уравнением [4]:

- при обработке свободно загруженных деталей в рабочую камеру:

$$F_{св} = 6V_{ч.р.с} \left(\frac{1}{K} \cdot m_1 \cdot \delta_s \cdot R \cdot K_m \cdot K_d \cdot B \right)^{0,5};$$

- при обработке закрепленных деталей:

$$F_{зак} = 6V_{ч.р.с} \left[\frac{1}{k} m_1 \cdot \delta_s \cdot R \cdot K_m \cdot K_d \cdot \left(1 - \frac{3}{8} K_1 \right) \right]^{0,5},$$

где m_1 – масса частицы рабочей среды; δ_s – предел текучести рабочей среды; R – радиус частицы рабочей среды; K_m – коэффициент присоединенной массы; K_d - коэффициент, учитывающий деформирующие свойства стенок рабочей камеры; K – коэффициент повторных ударов; K_1 – коэффициент восстановления; B – коэффициент, учитывающий количество энергии удара, идущей на отскок и на перемещение обрабатываемой детали.

Силы соударения изменяются в широких пределах в зависимости от режима колебаний и характеристики рабочей среды, достигая 0,5 - 50Н и более.

Для определения энергии соударения частиц с обрабатываемой поверхностью используется уравнение:

$$\mathcal{E}_y = \frac{HB}{6} \cdot \frac{d^4}{D},$$

где d - диаметр пластического отпечатка; D - диаметр частицы; HB - твердость материала детали.

Контактные давления в зоне соударения характеризуются уравнением:

$$P_{qmax} = \frac{3}{2} \frac{F}{\pi \cdot d^2},$$

где d - диаметр пластического отпечатка.

Вибрационная очистка, как правило, осуществляется в условиях непрерывной подачи в рабочую камеру технологической жидкости требуемого, по условиям обработки, состава [4]. Применение технологической жидкости обеспечивает: удаление продуктов загрязнения с поверхности детали. Путём регулирования уровня жидкости в рабочей камере стабилизируется интенсивность очистки. Таким образом, наличие жидкости в рабочей камере и на поверхности деталей является тем необходимым условием, при котором активируются процессы кавитации, вызывающие кавитационную эрозию загрязнения поверхности деталей [5].

Перемешающиеся под действием акустических течений тонкодисперсные частицы наряду с основными частицами рабочей среды попадая в зону действия ударных волн, возникающих при захлопывании кавитационных пузырьков, приобретают высокие скорости и обеспечивают дополнительные разрушения загрязнений за счёт удара о поверхность.

В работах [6, 7] установлено, что кавитационное разрушение эффективно тогда, когда процесс протекает при повышенном по сравнению с атмосферным статическим давлением. При вибрационной обработке высокое гидростатическое давление внутри массы загрузки, совершающей циркуляционное движение в рабочей камере обусловлено высокой плотностью контакта частиц рабочей среды, как между собой, так и с обрабатываемыми деталями. Кроме того, гидростатическое давление непосредственно зависит от динамического состояния вибрационной технологической системы, которое в значительной мере определяется амплитудными и фазочастотными параметрами.

На загрязненных поверхностях всегда имеются концентраторы напряжений в виде микротрещин, неровностей поверхности и т.п. Под действием интенсивных микропотоков жидкость с кавитационными пузырьками (кавернами) проникает в поры, трещины, под отслоившееся части загрязнения, где при их захлопывании возникает мощное ударное локальное давление с сильной неравномерностью. При этом вызывающее появление в слое загрязнений дополнительных трещин и следов эрозии, способствующих скорейшему разрушению загрязнений. Кроме того, разрушающее действие каверны может проявиться и при её расширении. В этом случае каверна при резком расширении своими границами может производить удары по окружающей жидкости, которые могут передаваться разрушаемому материалу (загрязнению).

Во время захлопывания кавитационный пузырек излучает ударную волну, которая в окрестности захлопывающегося пузырька может быть достаточно сильной, чтобы сжать ближайшие зародыши до еще меньшего объема. После прохождения ударной волны эти зародыши разрываются, и создается цепочка схлопываний [6].

Действующую нагрузку в контакте можно рассчитать аналитически, как эквивалентное напряжение отображающее энергию силового воздействия на

микрочастицы, находящиеся в зоне захлопывания кавитационного пузырька. Согласно исследованиям [6] удельное давление $P_{уд}$, развиваемое кавитационными пузырьками радиусом R_{max} , можно вычислить по формуле:

$$P_{уд} \approx \frac{4}{3} \pi R_{max}^3 \cdot p_r,$$

где R_{max} – максимальный радиус кавитационного пузырька в момент захлопывания; p_r – давление газа в полости пузырька;

Принимая что $p_r = p$, где p – гидростатическое давление в окружающей жидкости, можно записать

$$P_{уд} \approx \frac{4}{3} \pi R_{max}^3 \cdot p.$$

В работе [6] показано, что размер пузырька увеличивается по закону:

$$R = \sqrt{\frac{2p}{3\rho_{ж}}} \cdot t_m,$$

где $\rho_{ж}$ – плотность жидкости, t_m – время роста кавитационной полости до захлопывания.

Эта зависимость позволяет оценить максимальный радиус кавитационного пузырька R_{max} .

Число разрушающих загрязнение ударов составляет лишь небольшую часть от числа схлопывающихся пузырьков. В зависимости от начальных параметров развития кавитации (скорости потока, размеров каверн, и т.д.) может развиваться или не развиваться достаточно высокое давление при схлопывании на загрязненной поверхности. Также может оказаться, что центр схлопывания расположен слишком далеко от поверхности и образующаяся ударная волна не способна произвести разрушение. Наиболее сильное воздействие на загрязнения обуславливается действием микроструек, образующихся при схлопывании пузырьков [6,7]. Схлопывание пузырька происходит в сотые и тысячные доли секунды, поэтому окружающая пузырек жидкость занимает его место с большой скоростью, что приводит к возникновению местного кумулятивного удара жидкости. Кумулятивные струйки разрушают загрязнение на поверхности твердого тела за счет кинетической энергии жидкости. Проникающая в полость каверны при ее разрушении жидкость производит удар, который можно приближенно оценивать по формуле, приведенной в работе [6]:

$$P_{кум} = v \sqrt{\rho_{ж} \beta}, \quad (6)$$

где v – скорость проникновения струи в полость каверны; $\rho_{ж}$ – плотность жидкости; β – модуль сжатия жидкости.

Согласно данным из работы [6] скорость кумулятивной струи определяется из соотношения:

$$\gamma = \sqrt{\frac{52p}{3\rho_{ж}}}.$$

Модуль сжатия жидкости представляет собой относительное изменение объема жидкости, приходящееся на единицу изменения давления:

$$\beta = \frac{\Delta V}{\Delta p_r \cdot V},$$

где ΔV – объем воздействующих кавитационных пузырьков; V – объем всехкавитационных пузырьков.

Разрушение загрязнений происходит под действием многократных кратковременных импульсов напряжения. Для разрушения загрязнения недостаточно захлопывания одиночного пузырька, а необходимо захлопывание в одном и том же месте ряда пузырьков. В качестве параметра, характеризующего воздействие кавитации, принимается безразмерная величина – индекс кавитации, предложенная [6]

$$k = \frac{\Delta V}{V}.$$

Так как кавитационные полости могут занимать (относительно объема всей жидкости) объем от 0 до всего объема, индекс кавитации будет лежать в пределах $0 \leq k \leq 1$. Количество кавитационных пузырьков в единице объема жидкости и интенсивность ударных волн, возникающих при их захлопывании, определяют эрозионную активность моющей среды. При недостаточном темпе образования пузырей или при полном их отсутствии разрушение не происходит [7]. Принимая идеальное условие протекания процесса очистки ($k = 1$), в этом случае представляется максимальная эрозионная активность моющей жидкости. Таким образом, работа кавитационной очистки будет равна действию давления от каждого схлопнувшегося пузырька как от действия давления ударной волны от расширения и схлопывания, так и от действия кумулятивной струи, умноженное на количество схлопывающихся пузырьков K на фактической площади контакта S т.е.:

$$W_{ok} = (P_{уд} + P_{кум})K \cdot S,$$

где $K = 3\Delta V / 4\pi R_{max}^3$.

Еще одно свойство жидкости существенно влияет на процесс разрушения загрязнений – поверхностное натяжение. Поверхностное натяжение снижается с увеличением температуры. Плотность воды, в свою очередь, будет зависеть от температуры. Повышение температуры увеличивает химическую активность моющей среды (снижается поверхностное натяжение и вязкость), но до определенных пределов (так как возрастает давление насыщенных паров в пузырьке, снижающее эффективность кавитационного разрушения) [7]. С повышением температуры кавитационная эрозия вначале увеличивается до максимального значения, а затем уменьшается. Однако количество газа, растворенного в жидкости, как правило, уменьшается с повышением температуры. Чем больше тепла теряется из полости в результате теплопроводности, тем больше ее сжатие будет приближаться к условиям изотермического процесса. В большинстве газов при повышении окружающей температуры теплопроводность увеличивается, поэтому можно ожидать увеличение скорости сжатия [7].

Рост теплопроводности и уменьшение газосодержания с повышением температуры окружающей жидкости частично объясняют наличие максимума кавитационной эрозии во всех жидкостях. При движении стационарного потока жидкости в местах сужения потока, где скорость возрастает, давление в жидкости падает, в этих местах появляются кавитационные полости. Образование зон разного давления в потоке происходит за счет различных криволинейных течений.

Для оценки возможности возникновения кавитации из работы [6] используется величина k – число кавитации, определяемое по формуле:

$$k = \frac{p - p_{г}}{0,5 \rho_{ж} v^2},$$

где v – скорость потока жидкости.

Из (19) следует, чем больше величина k , тем меньше вероятность возникновения кавитации.

Заключение. Таким образом, из результатов проведенных исследований можно сделать вывод, что виброочистка поверхности непосредственно зависит от работы силы воздействия на загрязнение, которая в свою очередь зависит от динамической активности частиц рабочей среды и кавитационной активности технологической жидкости. В общем виде энергетическое условие виброочистки поверхностей детали от загрязнения можно представить в виде:

$$W_a < W_o = W_{o_d} + W_{o_k} = P_{gmax} + P_{уд} + P_{кум}.$$

Предложенное энергетическое условие и описанные математические зависимости можно использовать при отработке технологии виброочистки для заданных загрязнителей и материалов изделия при конкретной прикладной задаче, разработки и оптимизации процесса виброочистки изделий, описания и обоснования воздействия механохимических явлений на интенсификацию процесса очистки с целью выявления технико-экономического эффекта от использования вибрационного способа обработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зимон А. Д. Адгезия жидкости и смачивание / А. Д. Зимон. – Москва : Химия, 1974. – 416 с.
2. Смирнов Н. С. Очистка поверхности стали / Н. С. Смирнов, М. Е. Простаков, Я. Н. Липкин. – Москва : Металлургия, 1987. – 232 с.
3. Дерягин Б. В. Поверхностные силы / Дерягин Б. В., Чураев Н. В., Муллер В. М. – Москва : Наука, 1985. – 398 с.
4. Применение вибрационных технологий на операциях отделочно- зачистной обработки деталей (очистка, мойка, удаление облоя и заусенцев, обработка кромок) / А. П. Бабичев, П. Д. Мотренко, Л. К. Гиллеспи [и др.] ; под редакцией А. П. Бабичева. – Ростов-на-Дону : Издательский центр ДГТУ, 2010. – 289 с.
5. Лебедев В. А. Оценка эффективности влияния ультразвуковых колебаний на повышение интенсивности вибрационной отделочной обработки деталей / В. А. Лебедев, И. Л. Вяликов // Научноёмкие технологии в машиностроении. – 2014. – № 4. – С. 32-43.
6. Розенберг Л. Д. Физика и техника мощного ультразвука. Книга 3. Физические основы ультразвуковой технологии / Л. Д. Розенберг. – Москва : Наука, 1970. – 689 с.
7. Агранат Б. А. Ультразвуковая технология / Б. А. Агранат. – Москва : Металлургия, 1974. – 504 с.
8. Лебедев В. А. Моделирование эффективности виброочистки поверхности изделий от загрязнений / В. А. Лебедев // Проблемы и перспективы развития машиностроения : сборник научных трудов международной научно-технической конференции, посвящённой 60-летию Липецкого государственного технического университета / А. М. Корнеев (ответственный редактор), Липецк, 17-18 ноября 2016 г. – Липецк, 2016. – С. 151-156.

Поступила в редакцию 18.05.2020 г.

ENERGY ASPECTS OF VIBRATION CLEANING OF PARTS SURFACES FROM CONTAMINATION

Lebedev V.A., Ivanov V.V., Vesnin V.N.

Power-power factors of cleaning surfaces of parts from contamination in vibration process system providing technological effect of cleaning process are considered and dependencies for their determination are proposed. Adhesive bonds of contaminants with surface are disclosed and energy condition of their destruction is established. It is shown that efficiency of vibration cleaning depends on dynamic activity of working medium particles and cavitation activity of process fluid.

Keywords: Vibration cleaning, contamination, adhesion, working medium, cavitation, process fluid.

Лебедев Валерий Александрович

кандидат технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения» ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»,
Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону.
E-mail: va.lebedev@yandex.ru

Lebedev Valeriy Alexandrovich

Candidate of Technical Sciences, Professor at Department "Technology of Mechanical Engineering" of Don State Technical University, Russian Federation, Rostov-on-Don.

Иванов Владимир Витальевич

доктор технических наук, доцент кафедры «Эксплуатация транспортных систем и логистика» ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»,
Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону.
E-mail: vivanov_dstu@mail.ru

Ivanov Vladimir Vitalevich

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor at Department "Operation of transport systems and logistics" of Don State Technical University, Russian Federation, Rostov-on-Don.

Веснин Владимир Николаевич

аспирант ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»,
Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону.
E-mail: vesnin.1991@mail.ru

Vesnin Vladimir Nikolaevich

Graduate student of Don State Technical University, Russian Federation, Rostov-on-Don.

ПАМЯТИ ВЯЧЕСЛАВА ВЛАДИМИРОВИЧА БЕЛОУСОВА



2 июня 2020 года скоропостижно скончался заведующий кафедрой физики неравновесных процессов, метрологии и экологии имени И.Л. Повха Донецкого национального университета **Вячеслав Владимирович Белоусов.**

Белоусов Вячеслав Владимирович – известный ученый в области гидродинамики, теплофизики, численного моделирования. Родился 30 августа 1954 г. в городе Донецке. В 1976 году окончил физический факультет Донецкого государственного университета. После окончания физического факультета, работал инженером кафедры физической гидродинамики, а с 1981 года младшим научным сотрудником.

В 1986 году **Вячеслав Владимирович** защитил кандидатскую диссертацию в Институте технической теплофизики АН СССР (г. Киев) на тему «Гидродинамические и теплофизические процессы в расплаве в условиях термоконцентрационной конвекции» по специальности «Теплофизика и молекулярная физика». В 1988 году получил научное звание «старший научный сотрудник». В 1995 году – ученый секретарь НИЧ ДонНУ. В 1996 году защитил докторскую диссертацию в Институте технической теплофизики НАН Украины на тему «Гидродинамика и тепломассоперенос в больших стальных слитках» по специальностям «Теплофизика и промышленная теплоэнергетика» и «Металлургия черных металлов». С сентября 2000 года – первый заместитель начальника Главного управления образования и науки Донецкой облгосадминистрации, начальник отдела науки и высшего образования. С 2002 года – главный научный сотрудник Донецкого национального университета, тогда же избран по конкурсу на должность профессора кафедры физики неравновесных процессов, метрологии и экологии.

С 2013 года **Вячеслав Владимирович** продолжил дело своих учителей **Ивана Лукича Повха** и **Александра Борисовича Ступина** на посту заведующего кафедрой физики неравновесных процессов, метрологии и экологии имени И.Л Повха.

Под научным руководством **Белоусова В.В.** подготовлены 3 кандидата и 1 доктор наук, получено 7 патентов СССР и Украины, написано и напечатано 14 монографий, 20 учебников и учебных пособий, издано более 400 научных трудов.

Его научные разработки нашли применение в металлургической, машиностроительной, пищевой промышленности и в медицине. Результаты научных исследований внедрены на ПО «Серп и Молот», НПО «Темп», НПО «Шельф» (г. Москва), ПО «Невский завод», ПО «Балтийский завод», ПО «Ижорский завод», ПО «Большевик»(г. Санкт-Петербург), НПО «Ижсталь» (г. Ижевск), НПО «Звезда» (Минсредмаш), ПО «Красный Октябрь» (г. Волгоград), Технологический институт стали и сплавов НАНУ (г. Киев), ПО «Днепродзержинский металлургический комбинат», Днепродзержинский государственный технический университет (г. Днепродзержинск), Институт черных металлов НАНУ, Днепропетровская национальная металлургическая академия (г. Днепропетровск), ПО «Южнотрубный металлургический завод» (г. Никополь), Институт черной металлургии, Донецкий металлургический завод (г. Донецк), ЗАО «Азовсталь» (г. Мариуполь). В 2014 году стал Лауреатом Государственной премии Украины в области науки и техники.



Белоусов В.В. член редколлегии журналов «Математическое моделирование», «Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки», «Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки», член трёх специализированных советов по защите диссертаций на соискание научных степеней доктора и кандидата наук.

В последние годы на посту заведующего кафедрой он внес определяющий вклад в сохранение научного и педагогического потенциала кафедры, сохранение и развитие её материальной базы.

Вячеслав Владимирович Белоусов пользовался огромным авторитетом среди коллег, был примером для студентов. Будучи требовательным к себе и другим, он всегда оставался доброжелательным, простым в общении, готовым оказать профессиональную и человеческую помощь, всегда умел поделиться оптимизмом и неиссякаемой жизненной и творческой энергией.

Выражаем глубокие искренние соболезнования семье и близким в связи с кончиной этого достойного человека.

Светлая память о **Вячеславе Владимировиче** – добром, отзывчивом, жизнерадостном человеке – навсегда сохранится в наших сердцах.

Редакционная коллегия журнала и
коллектив Физико-технического факультета

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.

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. Рукописи, не соответствующие редакционным требованиям, и статьи, не соответствующие тематике журнала, к рассмотрению не принимаются. Редакция оставляет за собой право проводить редакционную правку рукописей. Корректур 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, **инициалы и фамилия(и) автора(ов)**, аннотация, **ключевые слова** 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 языке):
 - **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 Engineering 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:

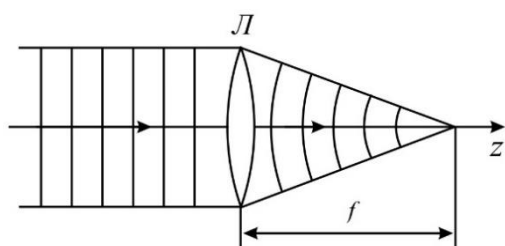


Рис. 1. Действие линзы на плоскую волну

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:

Донецкая Народная Республика 83001, г. Донецк, пр. Театральный, д. 13, Физико-технический факультет.

Главный редактор: Белоусов Вячеслав Владимирович, каб. 252.

Зам. главного редактора: Данилов Владимир Васильевич, каб 203.

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. – № 2

Технический редактор: И.А. Третьяков

Адрес редакции:

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»,
ДНР 83001, 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 03.07.2020 г.
Формат 60×84/8. Бумага офсетная.
Печать – цифровая. Усл. печ. л. 10,57
Тираж 100 экз. Заказ. №

Издательство ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»
ДНР 83001, 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.