

ВОЈНОТЕХНИЧКИ ГЛАСНИК

2016
2



Вол. 64, бр. 2
2016

ISSN 0042-8469
e-ISSN 2217-4753
УДК 623 + 355/359

ВОЈНОТЕХНИЧКИ ГЛАСНИК

НАУЧНИ ЧАСОПИС МИНИСТАРСТВА ОДБРАНЕ РЕПУБЛИКЕ СРБИЈЕ

ВТГ.МО.УПР.СРБ


www.vtg.mod.gov.rs

2016 ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК



Том 64 № 2
2016

ISSN 0042-8469
e-ISSN 2217-4753
УДК 623 + 355/359

ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ РЕСПУБЛИКИ СЕРБИЯ

2

втг.мо.упр.срб


www.vtg.mod.gov.rs

2016 MILITARY TECHNICAL COURIER



Vol 64, No 2
2016

ISSN 0042-8469
e-ISSN 2217-4753
UDC 623 + 355/359

MILITARY TECHNICAL Courier

SCIENTIFIC PERIODICAL OF THE MINISTRY OF DEFENCE OF THE REPUBLIC OF SERBIA

2

ВТГ.МО.УПР.СРБ


www.vtg.mod.gov.rs

ISSN 0042-8469
e-ISSN 2217-4753
UDC 623 + 355/359



ВОЛУМЕН 64 • БРОЈ 2 • АПРИЛ-ЈУН 2016.



VOLUMEN 64 • BROJ 2 • APRIL-JUN 2016.

ВТГ.МО.УПР.СРБ
www.vtg.mod.gov.rs
COBISS.SR-ID 4423939

ISSN 0042-8469
e-ISSN 2217-4753
UDC 623 + 355/359



ТОМ 64 • НОМЕР ВЫПУСКА 2 • АПРЕЛЬ-ИЮНЬ 2016.



VOLUME 64 • NO 2 • APRIL-JUNE 2016

ВТГ.МО.УНП.СРБ
www.vtg.mod.gov.rs
COBISS.SR-ID 4423939

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ РЕПУБЛИКЕ СРБИЈЕ
МЕДИЈА ЦЕНТАР „ОДБРАНА“

Директор
Стевица С. Карапанџин, пуковник

УНИВЕРЗИТЕТ ОДБРАНЕ У БЕОГРАДУ

Ректор
Проф. др Младен Вуруна, генерал-мајор, <http://orcid.org/0000-0002-3558-4312>

Начелник одсека за издавачку делатност
Драгана Марковић

УРЕДНИК ВОЈНОТЕХНИЧКОГ ГЛАСНИКА

мр Небојша Гаћеша, потпуковник
е-mail: nebojsa.gacesa@mod.gov.rs, tel.: 011/3349-497, 064/80-80-118, <http://orcid.org/0000-0003-3217-6513>

УРЕЂИВАЧКИ ОДБОР

- генерал-мајор проф. др Бојан Зрнић, начелник Управе за одбрамбене технологије Сектора за материјалне ресурсе Министарства одбране Републике Србије, председник Уређивачког одбора, <http://orcid.org/0000-0002-0961-993X>,
- доц. др Данко Јовановић, генерал-мајор у пензији, заменик председника уређивачког одбора,
- др Стеван М. Беббер, The University of Auckland, Department of Electrical and Computer Engineering, Auckland, New Zealand, <http://orcid.org/0000-0002-2432-3088>,
- научни сарадник др Обрад Чабаркапа, пуковник у пензији, <http://orcid.org/0000-0002-3949-8227>,
- проф. др Владимир Чернов, Владимирский государственный университет, Владимир, Российская федерация (Vladimir State University, Vladimir, Russian federation), <http://orcid.org/0000-0003-1830-2261>,
- пуковник ванр. проф. др Горан Дикић, проректор Универзитета одбране, Београд, <http://orcid.org/0000-0002-0858-1415>,
- проф. др Александар Дорохов, Харьковский национальный экономический университет, Харьков, Украина (Kharkiv National University of Economics, Kharkiv, Ukraine), <http://orcid.org/0000-0002-0737-8714>,
- проф. др Жељко Ђуровић, Електротехнички факултет Универзитета у Београду, <http://orcid.org/0000-0002-6076-442X>,
- проф. др Леонид И. Гречихин, Минский государственный высший авиационный колледж, Минск, Республика Беларусь; академик Академии строительства Украины (Minsk State Higher Aviation College, Minsk, Republic of Belarus; academician of Academy of Construction of Ukraine), <http://orcid.org/0000-0002-5358-9037>,
- др Јован Исаковић, Војнотехнички институт, Београд,
- проф. др Слободан Јарамаз, шеф Катедре за системе наоружања Машинског факултета Универзитета у Београду,
- проф. др Миодраг Јевтић, генерал-потпуковник у пензији,
- доц. др Вукица М. Јовановић, Trine University, Allen School of Engineering and Technology, Department of Engineering Technology, Angola, Indiana, USA, <http://orcid.org/0000-0002-8626-903X>,
- проф. др Мирко Коматина, шеф Катедре за термомеханику Машинског факултета Универзитета у Београду,
- научни саветник др Ана Костов, Институт за рударство и металургију, Бор, <http://orcid.org/0000-0003-1893-7187>,
- проф. др Митар Ковач, генерал-мајор у пензији,
- проф. др Бранко Ковачевић, декан Електротехничког факултета Универзитета у Београду, <http://orcid.org/0000-0001-9334-9639>,
- др Василије М. Мановић, Combustion and CCS Centre, Cranfield University, Cranfield, UK, <http://orcid.org/0000-0002-8377-7717>,
- проф. др Момчило Милиновић, Катедра за системе наоружања Машинског факултета Универзитета у Београду, <http://orcid.org/0000-0002-5361-7544>,
- проф. др Градимир В. Миловановић, редовни члан Српске академије наука и уметности, Математички институт САНУ, Београд, <http://orcid.org/0000-0002-3255-8127>,
- проф. др Митар Новаковић, ректор Универзитета у Источно Сарајеву, Република Српска, Босна и Херцеговина,
- научни саветник др Предраг Петровић, Извршни директор за научно-истраживачки рад и радијокомуникације Института за телекомуникације и електронику ИРИТЕЛ АД, Београд, <http://orcid.org/0000-0002-0455-7506>,
- проф. др Славко Пожорни, Висока школа за информационе технологије, рачунарски дизајн и савремено пословање, Београд, <http://orcid.org/0000-0002-3173-597X>,
- пуковник доц. др Стеван Радојчић, начелник Војногеографског института, Београд, <http://orcid.org/0000-0001-7203-0637>,
- пуковник доц. др Зоран Рајић, директор Војнотехничког института, Београд,
- научни саветник др Александар Родић, руководиоца Центра за роботiku Института „Михајло Пупин“, Београд, <http://orcid.org/0000-0002-5595-9724>,
- проф. др Станко Станић, ректор Универзитета у Бањој Луци, Република Српска, Босна и Херцеговина,
- проф. др Јонел Старету, Transilvania University of Brasov, Romania, <http://orcid.org/0000-0001-5947-7557>,
- научни саветник др Срећко С. Стопић, RWTH Aachen University, Faculty for Georesourcen and Materials Engineering, IME Process Metallurgy and Metal Recycling, Aachen, Deutschland, <http://orcid.org/0000-0002-1752-5378>,
- проф. др Мирослав Трајановић, шеф Катедре за производно-информационе технологије и менаџмент Машинског факултета Универзитета у Нишу, <http://orcid.org/0000-0002-3325-0933>,
- генерал-мајор проф. др Младен Вуруна, ректор Универзитета одбране у Београду, <http://orcid.org/0000-0002-3558-4312>,
- проф. др Алекса Зејак, Факултет техничких наука Универзитета у Новом Саду, <http://orcid.org/0000-0001-5114-2867>,
- потпуковник мр Небојша Гаћеша, уредник Војнотехничког гласника, секретар Уређивачког одбора, <http://orcid.org/0000-0003-3217-6513>.

Адреса редакције: ВОЈНОТЕХНИЧКИ ГЛАСНИК, Браће Југовића 19, Београд

<http://www.vtg.mod.gov.rs>

<http://aseestant.ceon.rs/index.php/vtg/issue/current>

<http://scindeks.nb.rs/journaldetails.aspx?issn=0042-8469>

http://elibrary.ru/title_about.asp?id=53280

<http://doaj.org/toc/0310c0550a134f2ba6a53e54ab177224>

е-mail: vojnotehnicki.glasnik@mod.gov.rs

Претплата на штампање издање: е-mail: pretplata@odbrana.mod.gov.rs; тел.-факс: 011/3241-009; текући рачун: 840-312849-56

Рукописи се не враћају

Часопис излази тромесечно

Први штампани број Војнотехничког гласника објављен је 1. 1. 1953. године

Прво електронско издање Војнотехничког гласника на Интернету објављено је 1. 1. 2011. године

Војнотехнички гласник је лиценциран код EBSCO Publishing-а, највећег светског агрегатора часописа, периодике и осталих извора у пуном тексту. Комплетан текст Војнотехничког гласника доступан је у базама података EBSCO Publishing-а.

Штампа: Војна штампарија – Београд, Ресавска 40б, е-mail: vojna.stamparija@mod.gov.rs



МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ РЕСПУБЛИКИ СЕРБИЯ
МЕДИА ЦЕНТР „ОДБРАНА“
ДИРЕКТОР

Стевица С. Карапанджич, полковник

УНИВЕРСИТЕТ ОБОРОНЫ В Г. БЕЛГРАДЕ

РЕКТОР

профессор д-р Младен Вуруна, генерал-майор, <http://orcid.org/0000-0002-3558-4312>

Начальник Управления по делам издательства:

Драгана Маркович

РЕДАКТОР ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКОГО ВЕСТНИКА

Кандидат технических наук Небойша Гачеша, подполковник

e-mail: nebojsa.gacesa@mod.gov.rs, тел.: +381 11 3349 497, +381 64 80 80 118, <http://orcid.org/0000-0003-3217-6513>

СОВЕТ РЕДАКТОРОВ

- Генерал-майор профессор д-р Боян Зринч, начальник Управления оборонительных технологий при Департаменте материальных ресурсов Министерства обороны Республики Сербия, председатель Совета редакторов, <http://orcid.org/0000-0002-0961-993X>,
- доцент д-р Данко Иванович, отставной генерал-майор, заместитель председателя Совета редакторов,
- Д-р Стеван М. Бербер, The University of Auckland, Department of Electrical and Computer Engineering, Auckland, New Zealand, <http://orcid.org/0000-0002-2432-3088>,
- Генерал-майор профессор д-р Младен Вуруна, ректор Университета обороны в г. Белграде, <http://orcid.org/0000-0002-3558-4312>,
- Профессор д-р Леонид Гречихин, Минский государственный высший авиационный колледж, Минск, Республика Беларусь, <http://orcid.org/0000-0002-5358-9037>,
- Профессор д-р Александр Дорохов, Харьковский национальный экономический университет, Харьков, Украина, <http://orcid.org/0000-0002-0737-8714>,
- Полковник доцент д-р Горан Дикич, проректор Университета обороны, г. Белград, <http://orcid.org/0000-0002-0858-1415>,
- Профессор д-р Желько Джурович, Электротехнический факультет Белградского университета, <http://orcid.org/0000-0002-6076-442X>,
- Профессор д-р Миодраг Евтич, отставной генерал-майор,
- Профессор д-р Алекса Зейак, Факультет технических наук Университета в г. Нови Сад, <http://orcid.org/0000-0001-5114-2867>,
- Профессор д-р Иван Исакович, Военно-технический институт, Белград,
- Профессор д-р Слободан Йарамаз, начальник Кафедры по военному машиностроению Машиностроительного факультета при Белградском университете,
- Д-р Вукмица М. Иванович, Trine University, Allen School of Engineering and Technology, Department of Engineering Technology, Angola, Indiana, USA, <http://orcid.org/0000-0002-8626-903X>,
- Профессор д-р Митар Ковач, отставной генерал-майор,
- Профессор д-р Бранко Ковачевич, декан Электротехнического факультета Белградского университета, <http://orcid.org/0000-0001-9334-9639>,
- Профессор д-р Мирко Коматина, начальник Кафедры термомеханики Машиностроительного факультета Белградского университета,
- Научный советник д-р Анна Костов, Институт горного дела и металлургии, г. Боп, <http://orcid.org/0000-0003-1893-7187>,
- Д-р Василий М. Манович, Combustion and CCS Centre, Cranfield University, Cranfield, UK, <http://orcid.org/0000-0002-8377-7717>,
- Профессор д-р Момчило Милинович, Машиностроительный факультет Белградского университета, <http://orcid.org/0000-0002-5361-7544>,
- Профессор д-р Градимир В. Милованович, член Сербской академии наук, Белград, <http://orcid.org/0000-0002-3255-8127>,
- Профессор д-р Митар Новакович, Университет в г. Восточного Сараево, Республика Сербская, Босния и Герцеговина,
- Научный советник д-р Предраг Петрович, Управляющий директор по вопросам исследовательских работ Института телекоммуникаций и электроники «IRITEL AD» г. Белград, <http://orcid.org/0000-0002-0455-7506>,
- Профессор д-р Славко Покорни, Колледж информационных технологий, компьютерного дизайна и современного бизнеса, Белград, <http://orcid.org/0000-0002-3173-597X>,
- Полковник доцент д-р Стеван Радойич, начальник Военно-географического института, г. Белград, факультета при Белградском университете, <http://orcid.org/0000-0001-7203-0637>,
- Полковник доцент д-р Зоран Райич, директор Военно-технического института в г. Белграде,
- Научный советник д-р Александр Родич, руководитель Центра робототехники Института имени «Михаило Пупин» в г. Белграде, <http://orcid.org/0000-0002-5595-9724>,
- Профессор д-р Станко Станич, Университет в г. Бания-Лука, Республика Сербская, Босния и Герцеговина,
- Профессор д-р Йонел Старету, Трансильванский университет в г. Брашов, Румыния, <http://orcid.org/0000-0001-5947-7557>,
- Научный советник д-р Срећко С. Столич, RWTH Aachen University, Faculty for Georesources and Materials Engineering, IME Process Metallurgy and Metal Recycling, Aachen, Deutschland, <http://orcid.org/0000-0002-1752-5378>,
- Профессор д-р Мирослав Траянкович, начальник Кафедры ИТ и менеджмента Машиностроительного факультета в г. Нише, <http://orcid.org/0000-0002-3325-0933>,
- Научный советник д-р Обрад Чабаркала, отставной полковник, <http://orcid.org/0000-0002-3949-8227>,
- Профессор д-р Владимир Чернов, Владимирский государственный университет, Владимир, Российская федерация, <http://orcid.org/0000-0003-1830-2261>,
- Подполковник кандидат технических наук Небойша Гачеша, редактор Военно-технического вестника, секретарь Совета редакторов, <http://orcid.org/0000-0003-3217-6513>.

Адрес редакции: ВОЈНОТЕХНИЧКИ ГЛАСНИК, Браће Југовића 19, Београд
<http://www.vtg.mod.gov.rs>

<http://aseestant.ceon.rs/index.php/vtg/issue/current>

<http://scindeks.nb.rs/journaldetails.aspx?issn=0042-8469>

http://elibrary.ru/title_about.asp?id=53280

<http://doaj.org/toc/0310c0550a134f2ba6a53e54ab177224>

e-mail: vojnotehnicki.glasnik@mod.gov.rs

Подписка на печатную версию журнала: e-mail: pretplata@odbrana.mod.gov.rs;

тел.-факс: +381 11 3241 009; № расчетного счета: 840-312849-56

Статьи, присланные редакции журнала не возвращаются

Журнал выпускается ежеквартально

Первый номер Военно-технического вестника выпущен 1.1.1953 года.

Первая электронная версия журнала размещена на интернет странице 1.1.2011 года.

Военно-технический вестник включен в систему EBSCO – всемирная академическая база данных и сервисов.

Печатает: Война штампарија – Београд, Ресавска 406, e-mail: vojna.stamparija@mod.gov.rs



MINISTRY OF DEFENCE OF THE REPUBLIC OF SERBIA
ODBRANA MEDIA CENTRE

Director
Col Stevica S. Karapandžin

UNIVERSITY OF DEFENCE IN BELGRADE

Rector
Major General Mladen Vuruna, PhD, Professor, <http://orcid.org/0000-0002-3558-4312>
Head of publishing department
Dragana Marković

EDITOR OF THE MILITARY TECHNICAL COURIER

Lt Col Nebojša Gaćeša MSc
e-mail: nebojsa.gacesa@mod.gov.rs, tel: +381 11 33 49 497, +381 64 80 80 118, <http://orcid.org/0000-0003-3217-6513>

EDITORIAL BOARD

- Major General Bojan Zrnić, PhD, Professor, Head of the Department for Defence Technologies, Material Resources Sector, Ministry of Defence, (Head of the Editorial Board), <http://orcid.org/0000-0002-0961-993X>
- Assistant Professor Danko Jovanović, PhD, retired Major General, (Deputy Head of the Editorial Board)
- Stevan M. Berber, PhD, The University of Auckland, Department of Electrical and Computer Engineering, Auckland, New Zealand, <http://orcid.org/0000-0002-2432-3088>
- Scientific Advisor Obrad Cabarkapa, PhD, retired Colonel, <http://orcid.org/0000-0002-3949-8227>
- Professor Vladimir Chernov, DSc, Department of Management and Informatics in Technical and Economic Systems, Vladimir State University, Vladimir, Russia, <http://orcid.org/0000-0003-1830-2261>
- Colonel Goran Dikić, PhD, Associate Professor, Prorector of the University of Defence, Belgrade, <http://orcid.org/0000-0002-0858-1415>
- Professor Aleksandr V. Dorohov, PhD, Kharkiv National University of Economics, Kharkiv, Ukraine, <http://orcid.org/0000-0002-0737-8714>
- Professor Željko Đurović, PhD, Faculty of Electrical Engineering, University of Belgrade, <http://orcid.org/0000-0002-6076-442X>
- Professor Leonid I. Gretchihin, PhD, Minsk State Higher Aviation College, Minsk, Republic of Belarus; academician of Academy of Construction of Ukraine, <http://orcid.org/0000-0002-5358-9037>
- Professor Jovan Isaković, PhD, Military Technical Institute, Belgrade
- Professor Slobodan Jaramaz, PhD, Head of the Weapon Systems Department at the Faculty of Mechanical Engineering, University of Belgrade
- Professor Miodrag Jevtić, PhD, retired Lt General
- Vukica M. Jovanović, PhD, Trine University, Allen School of Engineering and Technology, Department of Engineering Technology, Angola, Indiana, USA, <http://orcid.org/0000-0002-8626-903X>
- Professor Mirko Komatina, PhD, Head of the Department for Thermomechanics at the Faculty of Mechanical Engineering, University of Belgrade
- Scientific Advisor Ana Kostov, PhD, Institute of Mining and Metallurgy, Bor, Serbia, <http://orcid.org/0000-0003-1893-7187>
- Professor Mitar Kovač, PhD, retired Major General
- Professor Branko Kovačević, PhD, Dean of the Faculty of Electrical Engineering University of Belgrade, <http://orcid.org/0000-0001-9334-9639>
- Vasilije M. Manović, PhD, Combustion and CCS Centre, Cranfield University, Cranfield, UK, <http://orcid.org/0000-0002-8377-7717>
- Professor Momčilo Milinović, PhD, Weapon Systems Department at the Faculty of Mechanical Engineering, University of Belgrade, <http://orcid.org/0000-0002-5361-7544>
- Professor Gradimir V. Milovanović, PhD, Member of the Serbian Academy of Sciences and Arts, Mathematical Institute of the SASA, Belgrade, <http://orcid.org/0000-0002-3255-8127>
- Professor Mitar Novaković, PhD, University of East Sarajevo, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina
- Scientific Advisor Predrag Petrović, PhD, Executive Director for R&D and Radio Communications, Institute of telecommunications and electronics IRITEL AD, Belgrade, <http://orcid.org/0000-0002-0455-7506>
- Professor Slavko Pokorni, PhD, Information Technology School, Belgrade, <http://orcid.org/0000-0002-3173-597X>,
- Colonel Stevan Radojčić, PhD, Assistant Professor, Head of the Military Geographical Institute, Belgrade, <http://orcid.org/0000-0001-7203-0637>
- Colonel Zoran Rajić, PhD, Assistant Professor, Director of the Military Technical Institute, Belgrade
- Scientific Advisor Aleksandar Rodić, PhD, Head of the Robotics Laboratory at the Mihajlo Pupin Institute, Belgrade, <http://orcid.org/0000-0002-5595-9724>
- Professor Stanko Stanić, PhD, University of Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina
- Professor Ionel Staretu, PhD, Transilvania University of Brasov, Romania, <http://orcid.org/0000-0001-5947-7557>
- Scientific Advisor Srećko S. Stopić, PhD, RWTH Aachen University, Faculty for Georesources and Materials Engineering, IME Process Metallurgy and Metal Recycling, Aachen, Germany, <http://orcid.org/0000-0002-1752-5378>,
- Professor Miroslav Trajanović, PhD, Head of the Department for Production IT and Management at the Faculty of Mechanical Engineering, University of Niš, <http://orcid.org/0000-0002-3325-0933>
- Major General Mladen Vuruna, PhD, Professor, Rector of the University of Defence in Belgrade, <http://orcid.org/0000-0002-3558-4312>
- Professor Aleksa Zejak, PhD, Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad, <http://orcid.org/0000-0001-5114-2867>
- Lt Colonel Nebojša Gaćeša, MSc, Editor of the Military Technical Courier (Secretary of the Editorial Board), <http://orcid.org/0000-0003-3217-6513>

Address: MILITARY TECHNICAL COURIER, Braće Jugovića 19, 11000 Beograd, Serbia

<http://www.vtg.mod.gov.rs/index-e.html>

<http://aseestant.ceon.rs/index.php/vtg/issue/current>

<http://scindeks.nb.rs/journaldetails.aspx?issn=0042-8469>

http://elibrary.ru/title_about.asp?id=53280

<http://doaj.org/toc/0310c0550a134f2ba6a53e54ab177224>

e-mail: vojnotehnicki.glasnik@mod.gov.rs

Subscription to print edition: e-mail: pretplata@odbrana.mod.gov.rs; Tel.-fax: +381 11 32 41 009; account: 840-312849-56

Manuscripts are not returned

The journal is published quarterly

The first printed issue of the *Military Technical Courier* appeared on 1st January 1953.

The first electronic edition of the *Military Technical Courier* on the Internet appeared on 1st January 2011.

Military Technical Courier has entered into an electronic licensing relationship with EBSCO Publishing, the world's most prolific aggregator of full text journals, magazines and other sources. The full text of *Military Technical Courier* can be found on EBSCO Publishing's databases.

Printed by Vojna štamparija – Beograd, Resavska 40b, e-mail: vojna.stamparija@mod.gov.rs



САДРЖАЈ

ОРИГИНАЛНИ НАУЧНИ ЧЛАНЦИ

- Стеван М. Бербер*
Прототип вишеучесничког система базираног на пријемницима
са корелаторима или машином подржавајућих вектора 353–382
- Срећко Р. Стопић, Бернд Г. Фридрих*
Кинетика растварања итријума из отпадног керамичког праха 383–395
- Сања Љ. Корица*
Резултати задржавања и термалне десорпције деутеријума у EUROFER-у,
новој врсти феритно-мартензитног челика ниске активације 396–410
- Михаило Р. Мрдак*
Својства трослојне термо баријерне превлаке $ZrO_2/MgO/MgZrO_3NiCr/NiCr$
депоноване атмосферским плазма спреј процесом 411–430
- Марија Л. Соколова, Владимир Г. Чернов*
Избор начина транспорта при стварању логистичког система
с фактором несигурности 431–446
- Леонид И. Гречихин, Викторија М. Комаровскаја*
Негативни јони атома, двоатомских и троатомских молекула 447–464
- Никола П. Жегарац*
Истраживање узрока повишених нивоа вибрација на
дизел-електроагрегатима у контроли летења – Аеродром Београд 465–482

ПРЕГЛЕДНИ ЧЛАНЦИ

- Данијела Д. Протић*
Неуронска криптографија 483–495
- Милосав Н. Мајсторовић*
Поравнање пословања и информационе технологије 496–512

СТРУЧНИ ЧЛАНЦИ

- Иван М. Бабинцев, Дејан В. Вулетић*
Анализа безбедности web апликација оперативним системом Kali Linux ... 513–531
- Срђан З. Рутић*
Тероризам нуклеарним средствима 532–551

ПРИКАЗИ

- Славко Ј. Покорни*
18. међународна конференција ICDQM-2015 (приказ зборника радова) 552–573

САВРЕМЕНО НАОРУЖАЊЕ И ВОЈНА ОПРЕМА

- Никола М. Остојић, Драган М. Вучковић, Милош М. Јевтић* 574–633
- ПОЗИВ И УПУТСТВО АУТОРИМА 634–648

СОДЕРЖАНИЕ

ОРИГИНАЛЬНЫЕ НАУЧНЫЕ СТАТЬИ

- Стеван* М. Бербер
Прототип многопользовательской системы, основанной
на корреляционных приемниках или опорных векторах 353–382
- Сречко* Р. Стопич, *Бернд* Г. Фридрих
Кинетика растворения иттрия из отходной керамической пыли 383–395
- Саня* Л. Корица
Результаты исследования по удержанию дейтерия и термической десорбции
в условиях низкой активации ферритно-мартенситной стали EUROFER . 396–410
- Михаило* Р. Мрдак
Характеристики трехслойных термобарьерных покрытий $ZrO_2MgO/MgZrO_3NiCr/NiCr$, нанесенных воздушно-плазменным напылением 411–430
- Мария* Леонидовна Соколова, *Владимир* Георгиевич Чернов
Выбор вида транспорта для построения логистической системы
с учетом факторов неопределенности 431–446
- Леонид* И. Гречихин, *Виктория* М. Комаровская
Отрицательные ионы атомов, двухатомных и трехатомных молекул 447–464
- Никола* П. Жегарац
Исследование причин повышенного уровня вибраций на дизельных
электростанциях в авиадиспетчерской службе – Аэропорт Белград 465–482

ОБЗОРНЫЕ СТАТЬИ

- Даниела* Д. Протич
Нейрокриптография 483–495
- Милосав* Н. Майсторович
Выравнивание бизнеса и информационные технологии 496–512

ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

- Иван* В. Бабинцев, *Дејан* В. Вулетић
Анализ безопасности веб-приложений операционной системой Kali Linux 513–531
- Срджан* З. Рутич
Ядерный терроризм 532–551

ОБЗОРЫ

- Славко* Й. Покорни
18. международная конференция ICDQM-2015 (обзор сборника статей) ... 552–573

СОВРЕМЕННОЕ ВООРУЖЕНИЕ И ВОЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

- Никола* М. Остоич, *Драган* М. Вучкович, *Милош* М. Йевтић 574–633
- ПРИГЛАШЕНИЕ И ИНСТРУКЦИИ ДЛЯ АВТОРОВ РАБОТ 634–648

CONTENTS

ORIGINAL SCIENTIFIC PAPERS

<i>Stevan M. Berber</i> Prototype of a multi-user chaos-based system with correlator and support vector machine receivers	353–382
<i>Srećko R. Stopić, Bernd G. Friedrich</i> Kinetics of yttrium dissolution from waste ceramic dust	383–395
<i>Sanja Lj. Korica</i> Presentation of the results for deuterium retention and thermal release in a new type of low activation ferritic-martensitic steel EUROFER	396–410
<i>Mihailo R. Mrdak</i> Properties of the ZrO ₂ MgO/ MgZrO ₃ NiCr/ NiCr triple-layer thermal barrier coating deposited by the atmospheric plasma spray process	411–430
<i>Maria Leonidovna Sokolova, Vladimir Georgievich Chernov</i> Choice of the means of transport for the creation of a logistic system relying on uncertainties	431–446
<i>Leonid I. Grethcikhin, Viktoriya M. Komarovskaya</i> Negative ions of atoms and diatomic and triatomic molecules	447–464
<i>Nikola P. Žegarac</i> Research into the causes of increased vibration levels on the diesel-electric generators set at the air traffic control – Belgrade Airport	465–482

REVIEW PAPERS

<i>Danijela D. Protić</i> Neural cryptography	483–495
<i>Milosav N. Majstorović</i> Business and IT Alignment	496–512

PROFESSIONAL PAPERS

<i>Ivan M. Babincev, Dejan V. Vuletić</i> Web application security analysis using the Kali Linux operating system	513–531
<i>Srđan Z. Rutić</i> Nuclear terrorism	532–551

REVIEWS

<i>Slavko J. Pokorni</i> 18th International Conference on Dependability and Quality Management ICDQM-2015 (Proceedings Review)	552–573
--	---------

MODERN WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT

<i>Nikola M. Ostojić, Dragan M. Vučković, Miloš M. Jevtić</i>	574–633
CALL FOR PAPERS AND INSTRUCTIONS FOR AUTHORS	634–648

PROTOTYPE OF A MULTI-USER CHAOS-BASED SYSTEM WITH CORRELATOR AND SUPPORT VECTOR MACHINE RECEIVERS

Stevan M. Berber

The University of Auckland, ECE Department, New Zealand

e-mail: s.berber@auckland.ac.nz

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0002-2432-3088>

DOI: 10.5937/vojtechg64-8899

FIELD: Telecommunications, Wireless Communication Systems,
Multi-user Systems, Support Vector Machines

ARTICLE TYPE: Original Scientific Paper

ARTICLE LANGUAGE: English

Abstract:

Multiuser communication techniques are used in modern wireless networks like cellular and wireless sensor networks. The design of the physical layer for these networks was based on the application of binary spreading sequences and a correlation receiver. This paper presents a design of a multiuser code division transceiver using a new method of communication based on the application of chaotic spreading sequences that can increase security of the system, and on a new technique of detecting the received signal using a support vector machine and a traditional correlation receiver. The two receivers are theoretically analyzed, including the derivation of the probability of error expression in a closed form for the fading channel, and then implemented in DSP technology on a 32-bit floating-point TigerSHARC DSP platform. The comparison of two implemented systems showed that the support vector machine solution improves the robustness of the system, sacrificing the speed of processing. The achievable bit rate for the correlator receiver was up to two times higher than for the support vector machine receiver.

Key words: *Chaos-based communication; SVM and correlator receivers; CDMA systems; DSP desing of CDMA system.*

ACKNOWLEDGEMENT: The author is grateful to his summer research project student Shirin Ahmed for her efforts to work on the system prototyping.

Introduction

Due to high demands on mobile communications, wireless communication systems and networks are developing faster than ever. Main requirements are to increase capacity of communications links and reduce power consumption of devices, which led to the integration of different types of networks (Šunjevarić, et al, 2013) and their analysis targeted to increase their reliability (Jevtović and Pavlović, 2011). To reduce energy consumption, new techniques of communications are developed and new methods of signal detection are investigated. A support vector machine (SVM) is a machine learning technique which originates from statistical learning. This technique is immensely popular and highly recognized in the fields of data-mining for applications such as speech/music classifier (Lim, et al, 2012), text recognition and DNA micro-array analysis (Kecman, 2001), (Wang, 2005). Recently, there have been some preliminary investigations on applying the SVM as an alternative receiver for CDMA systems because of its ability to mitigate multi-user interference, increase security in signal transmission and adapt to the dynamic communication requirements related to the number of users and characteristics of spreading in the system (Kao and Berber, 2008), (Kao, et al, 2008 and 2010), (Hanzo, et al, 2001), (Yang, et al, 2005), (Kuh, et al, 1999), (Markagić, 2010). However, until now, there is no report on hardware implementation or practical realization of this receiver, which motivated the author to report the research results related to a prototype design of the system.

Recently, chaos-based communication systems have been under extensive development (Tam, et al, 2004), (Cimatti, et al, 2007), (Kaddoum, et al, 2012, 2013), (Berber, et al, 2013) and in particular multi-user CDMA systems that use classical and chaotic spread sequences (Chen, et al, 2001), (Xiao, et al, 2010), (Torrieri, et al, 2010), (Yue, et al, 2010), (Mazzini, et al, 1997), (Rovatti, et al, 1998), where the problem of robust system synchronization was extensively investigated (Kolumban, et al, 1997, 1998, 2000), (Setti, et al, 1999), (Rovatti, et al, 2001), (Berber, et al, 2006), (Jovic, et al, 2007), (Kaddoum, et al, 2009), (Vali, et al, 2010), (Sokolović, et al, 2011). The majority of these papers analysed the systems with a flat fading channel. A detailed analysis of a CDMA system with an assumed wideband, frequency selective channel, was investigated by (Berber, 2014). Due to the limited orthogonality of the spreading sequences, the interuser interference increases with the increase of the number of users in CDMA systems. To overcome this problem of interference, the multiuser detectors are developed (Buehrer, et al, 2000), (Moshavi, 1996), (Poor and Verdu, 1997), (Verdu, 1998), and in particular detectors based on the application of the support vector machine (SVM) technique (Hanzo, et al, 2001), (Yang, et al, 2005), (Kuh, et al, 1999), (Chen and Hanzo, 2002), (Yang and Hu, 2006), (Zhao and Kuh, 2002).

Although the SVM technique was applied for signal detection, there are no publications presenting its implementation in DSP technology. This fact motivated the author to present his results related to the prototype design and testing of a chaos-based CDMA system. The system with a correlator receiver was also implemented in order to make comparison of this system with the system based on SVM. The bit error rate (BER) properties of both prototypes are compared with the corresponding properties of the theoretical and simulation model. The conducted theoretical and practical analysis showed the advantages of the SVM receiver and good matching of the theoretical and practical results, which presents the first contribution of this paper.

Since the probability of error expression in SVM CDMA systems has not been derived yet, the author made an additional contribution by deriving this expression in a closed form. It was further confirmed that the BER graphs comply with the corresponding graphs obtained by numerical integration (Kao, et al, 2010), which proves the validity of the obtained expression and makes an additional contribution of this paper.

Two systems are compared, one with the SVM and another one with a correlator receiver. It was shown that the correlator receiver can accommodate a higher bit rate than the SVM receiver. As far as complexity is concerned, the SVM requires longer processing time than the correlator receiver. The procedure of comparison and related findings are a valuable contribution of this paper.

This paper has seven sections. Section Two presents the basic characteristics of the chaotic sequences and the operations of a CDMA system. Theoretical modelling and derivative of BER for the correlator and the SVM receiver are presented in Section Three. In particular, a detail derivative for the BER expression of the SVM receiver is shown, which has not been derived yet. A prototype of the system is developed and presented in Section Four. The specific properties of the DSP design of the SVM system are presented in Section Five. The results of the prototype testing and its comparison with the theoretical and simulation models are presented in Section Six. The conclusions are presented in Section Seven.

Multi-user chaos based system operation with the SVM receiver

Chaotic sequences and their properties

Chaotic sequences are non-binary sequences with a statistical structure that depends on their initial conditions. Due to their correlation properties, these chaotic sequences, generated using chaotic maps, can

be used in spread spectrum systems to spread message bits. The maps used to generate chaotic sequences are based on Chebyshev degree- L maps defined by this recursive equation $c_{k+1} = \cos(L \cos^{-1} c_k)$. The discrete random samples in the sequence c_i can take the values between -1 and +1. For $L = 2$, one obtains the logistic map that will be used in this work as the spreading sequence. The samples for this map are generated according to this recursive expression

$$c_{k+1} = 2c_k^2 - 1, \quad (1)$$

The density function for this map is

$$f_{c_k}(c_k) = \frac{1}{2\sqrt{1-c_k^2}}, \quad (2)$$

In order to compare chaotic systems with the classical binary system, the chaotic samples need to be generated with the unity average power. There are two methods to achieve this. The first method is to generate chaotic sequences with the average power equal to the power of a binary sequence. In this case, the sample of the chaotic sequence, in this paper denoted by c_i , is defined as a linear function of c_k , i.e., $c_i = \sqrt{2}c_k$, with a related density function (Berber and Feng, 2013)

$$f_{c_i}(c_i) = \frac{1}{\pi\sqrt{2-c_i^2}}, \text{ for } -\sqrt{2} \leq c_i \leq \sqrt{2}, \quad (3)$$

which is symmetric in respect to zero and has the mean square value of one, i.e.,

$$E\{c_i^2\} = \int_{-\sqrt{2}}^{\sqrt{2}} c_i^2 \frac{1}{\pi\sqrt{2-c_i^2}} dc_i = 1. \quad (4)$$

The second method is to generate chaotic sequences using the recursive expression like (1) and then applying the simple rule: generate +1 if the generated sample is positive or generate -1 if the generated sample is zero or negative. In this case, using different initial conditions, the orthogonal binary sequences of ones and minus ones can be obtained, which has good correlation characteristics. As such, they can be used as spreading sequences in CDMA systems.

The degree of orthogonality between two sequences generated by the logistic map can be seen in Fig. 1 in which the cross and autocorrelation functions are shown.

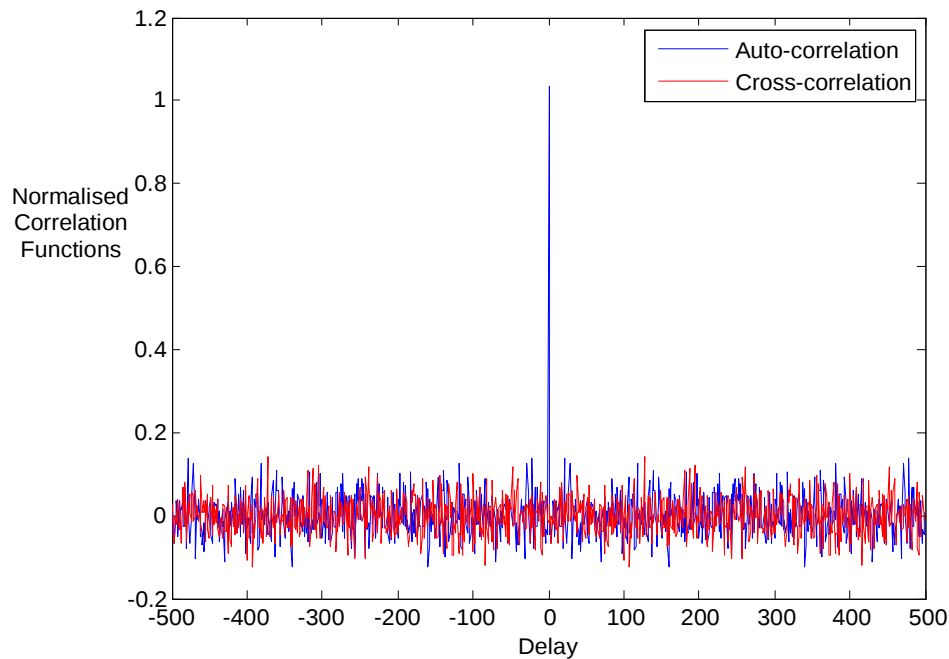


Figure 1 – Autocorrelation and crosscorrelation functions (Berber, 2014)

Рис. 1 – Автокорреляционная и взаимокорреляционная функции (Berber, 2014)

Slika 1 – Funkcije korelacije i unakrsne korelacije (Berber, 2014)

As it can be seen, the cross-correlation of two chaotic sequences generated with different initial conditions is close to zero and the auto-correlation function of the same sequence has a peak when it is aligned in time by itself.

Communication system structure and operation

The basic structure of multi-user communication system, consisting of a transmitter (Tx), a channel and a receiver (Rx) is presented in Fig. 2. The system allows the transmission of N user signals simultaneously. The message bits of N users are spread by N orthogonal spreading chaotic sequences. All spread signals are added to form the transmitter signal s_t .

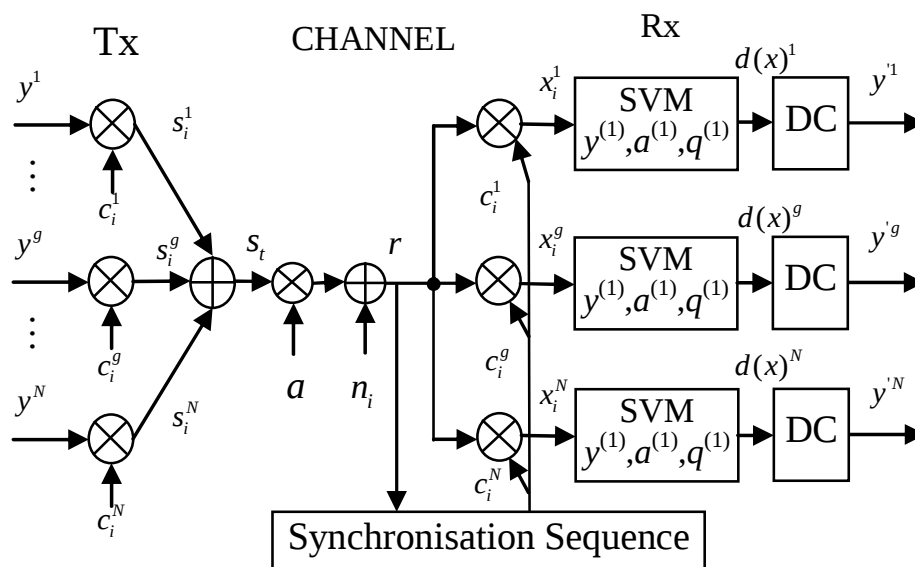


Figure 2 – CDMA sistema structure
Рис. 2 – Структура CDMA системы
Slika 2 – Struktura CDMA sistema

The chips are transmitted through the channel characterized by additive white Gaussian Noise (AWGNC) and Rayleigh fading. This type of channel is adopted due to its possible complex behavior related to the propagation of signals between the transmitter and the receiver and random distribution of bit errors (Radonjić and Gaćeša, 2011). The received signal, containing up to N user signals, is multiplied with the corresponding synchronous spreading sequence to take out the message of a particular user. For example, if only the g -th user signal is transmitted, the output of the multiplier for i -th chip value can be expressed as

$$x_i = r_i c_i = y c_i^2 + n_i c_i, \quad (5)$$

where $c_i^g = c_i$ is the locally generated spread sequence and r_i is the received chip. The SVM soft output for this user is $d(x) = d(x)^g$ that contains the transmitted message bits (Kao, et al, 2010). This soft value is applied to the input of the decision circuit (DC) which regenerates the estimate of the message bit y^g at its output. The i^{th} bit of the g^{th} user is denoted by $y=y^g$, which can have one of two values taken from the set $\{-1, +1\}$.

In the case of a correlator receiver, the system structure remains the same except that the SVM block is replaced by an adder that forms the correlator inside the users' receivers (Sandhu and Berber, 2009). The structure of the transmitter remains the same as in Fig. 2.

SVM detector operation

Unlike the correlator receiver, the SVM receiver has two stages of operation: the initial training or the learning stage, which needs to be performed once only, and the testing stage in which the estimation of the unknown noisy signal actually takes place. The operations of the two stages will be further discussed in the following sections.

1) *Training Stage*: During this stage, the goal of the SVM is to seek for a separation (hyper) plane which maximizes the margin between the two data-sets of (+1) and (-1) in a 2β -dimensional space (Kao, et al, 2010). The input training sequence $\mathbf{x}$ is a vector of length 2β , with the elements given as $x_i = r_i c_i$ where c_i are chips in a periodic chip sequence of the length 2β (the notation for the user g is omitted in this section for simplicity). Each data sequence $\mathbf{x}$ is associated with a binary message $y \in \{+1, -1\}$ to indicate the desired output.

After the training is completed, the decision function of the linear SVM used here is expressed as (Kao, et al, 2010),

$$d(\mathbf{x}) = \sum_{l=1}^L y_l \alpha_l (\mathbf{x}_l^T \mathbf{x} + 1) + b, \quad (6)$$

where L is the number of training sequences, α_l ($\alpha_l \geq 0$) is the Lagrangian dual variable which contributes to the slope of the separation plane and b is the intercept term of a decision hyperplane called bias (Kao, et al, 2010). The small sets of training sequences with non-zero α_l are called support vectors (SVs). The training stage only needs to be completed once throughout the entire communication life-cycle, unless the underlying parameters such as the total number of users or the spreading factor have been changed significantly.

2) *Testing Stage*: When the training is completed, the SVM receiver can begin to estimate the transmitted symbol by making a hard decision in accordance with this decision rule (Kao, et al, 2010)

$$y' = \text{sign}[d(\mathbf{x})], \quad (7)$$

The receiver based on the SVM application solves a classification problem and does not need any knowledge of the spreading sequences of other users (Kao, et al, 2010).

Probability of error derivations for the SVM and the correlator receiver for a noisy channel

The theoretical BER of such SVM receiver calculated for the g -th user under AWGN has been already derived (Kao, et al, 2010) in this form

$$p_n = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{\left(\sum_{i=1}^{2\beta} \sum_{s=1}^{N_{SV}} y_s \alpha_s q_{s,i} + \sum_{s=1}^{N_{SV}} y_s \alpha_s + b \right)^2}{N_0 \sum_{i=1}^{2\beta} \left(\sum_{s=1}^{N_{SV}} y_s \alpha_s q_{s,i} \right)^2}}, \quad (8)$$

where N_{SV} is the number of support vectors and N_0 is the noise power spectral density. In the case when a correlator receiver is used, the probability of error is derived in this form (Sandhu and Berber, 2009)

$$p_{nc} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left[\frac{\psi}{\beta} + \frac{N-1}{\beta} + \left(\frac{E_b}{N_0} \right)^{-1} \right]^{-1/2}, \quad (9)$$

where the value of ψ determines the statistical characteristics of the spreading sequence, N is the number of users in the system, and 2β is the spreading factor.

Probability of error derivations for the SVM and the correlator receiver for a fading channel

In the case of Rayleigh fading presence in the channel, the expression for the probability of error for the SVM receiver has not been published yet. In this case, the presence of fading will affect the received single user signal in such a way that the output of the receiver multiplier (5) will now have this form

$$x_i = a y c_i^2 + n_i c_i, \quad (10)$$

where a is the fading coefficient that affects all chips inside a bit interval. This expression refers to the signal of a single user. It is important to note that when deriving the probability of error for the SVM receiver, it is sufficient to consider a single user case because the influence of the multi-user interference is not contained at the output of the SVM detector. This

coefficient will affect the output of the SVM detector expressed by (6), which can be sufficiently accurately expressed as

$$d(\mathbf{x}) = a \left(\sum_{l=1}^L y_l \alpha_l (\mathbf{x}_l^T \mathbf{x} + 1) + b \right), \quad (11)$$

and further simplified to (Kao, et al, 2010)

$$d(x) = a \left[\sum_{s=1}^{N_{SV}} y_s \alpha_s \left(\sum_{i=1}^{2\beta} x_{s,i} x_i + 1 \right) + b \right] = a \left(\sum_{i=1}^{2\beta} x_i \sum_{s=1}^{N_{SV}} y_s \alpha_s x_{s,i} + \sum_{s=1}^{N_{SV}} y_s \alpha_s + b \right), \quad (12)$$

Then, the probability of error can be expressed as a random function of the Rayleigh fading coefficient a in this form

$$p_n(a) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{a^2 \left(\sum_{i=1}^{2\beta} \sum_{s=1}^{N_{SV}} y_s \alpha_s q_{s,i} + \sum_{s=1}^{N_{SV}} y_s \alpha_s + b \right)^2}{N_0 \sum_{i=1}^{2\beta} \left(\sum_{s=1}^{N_{SV}} y_s \alpha_s q_{s,i} \right)^2}}, \quad (13)$$

as derived in (Kao, et al, 2010). This expression will be further simplified in this paper and the probability of error in the fading case can be derived in a closed form in accordance with the following procedure. If the signal to noise ratio part in this expression is denoted by

$$X = \frac{\left(\sum_{i=1}^{2\beta} \sum_{s=1}^{N_{SV}} y_s \alpha_s q_{s,i} + \sum_{s=1}^{N_{SV}} y_s \alpha_s + b \right)^2}{N_0 \sum_{i=1}^{2\beta} \left(\sum_{s=1}^{N_{SV}} y_s \alpha_s q_{s,i} \right)^2}, \quad (14)$$

the expression for the probability of error can be simplified and expressed as a function of the fading coefficient a as

$$p_n(a) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{a^2 \cdot X} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{Y}, \quad (15)$$

where Y has a chi-squared probability distribution with two degrees of freedom because a^2 has the same distribution, which can be expressed as

$$f_Y(y) = \frac{1}{y} \exp\left(\frac{-y}{y}\right). \quad (16)$$

The probability of error for the Rayleigh fading channel can then be found as the mean value of function (15) and expressed in an integral form as

$$p_{rf} = E\{p_n(y)\} = \frac{1}{2\bar{y}} \int_0^{\infty} \text{erfc}\sqrt{y} \exp\left(\frac{-y}{\bar{y}}\right) dy, \quad (17)$$

This integral can be solved using numerical integration. The results of this integration and simulation are presented and discussed in (Kao, et al, 2010). In order to avoid numerical integration, the closed form expression is found in this paper.

By using the property of the error complementary function and its derivatives, and then integrating relation (17) by parts, the expression for the probability of error can be derived in this closed form

$$p_{rf} = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\bar{y}}{\bar{y}+1}}, \quad (18)$$

where the mean of Y is $\bar{y} = \bar{Y} = E\{a^2\}X = X$, expressed by (14), because the mean power of fades is equal to one.

In the case when a correlator receiver is used, the probability of error is derived in the closed form (Sandhu and Berber, 2006)

$$p_{rc}(a) = \frac{1}{2} \text{erfc} \left[\frac{\psi}{\beta} + \frac{N-1}{\beta} + \left(\frac{a^2 E_b}{N_0} \right)^{-1} \right]^{-1/2}, \quad (19)$$

where a is the fading coefficient, ψ determines the statistical characteristics of the spreading sequence, N is the number of users in the system, and 2β is the spreading factor. The mean value of this function in respect to the Rayleigh random variable a , which is obtained in an integral form (Sandhu and Berber, 2006), gives the probability of error in the fading channel. However, this integral cannot be solved and numerical integration needs to be used. It is important to note that the probability of error increases enormously due to the fading presence in the channel. Thus, some techniques to mitigate fading should be used. If the block chip interleaving techniques are used, with the block dimensions $2\beta \times 2\beta$, the probability of error can be obtained in a closed form as (Berber and Vali, 2011)

$$p^g = \frac{1}{2} \text{erfc} \left(\frac{2+4N-\pi}{\pi\beta} + \frac{2}{b^2\pi} \left(\frac{E_b}{N_0} \right)^{-1} \right)^{-1/2}, \quad (20)$$

where the influence of fading expressed as $b^2=1/2$ due to the unity power of the fading in the channel. It was proven that the substantial improvement can be achieved using the interleaving technique (Berber and Vali, 2011).

Design and implementation of the system with both SVM and correlator receivers

DSP platform for prototyping

For the design and the implementation of the chaos-based communication system, the ADSP-TS201S TigerSHARC processor from Analog Devices was used (Analog Devices Inc., 2014). Two processors are installed on an evaluation board named TS201S EZ-KIT Lite. The designed CDMA system was implemented on one of these processors. The processors support floating-point data formats, both single-precision 32-bit and extended precision 40-bit, and 8, 16, 32 and 64-bit fixed point data formats. The 32-bit floating-point data format was used in this design because it provides adequate precision for chaotic signal value generation. Although a fixed-point processor is generally faster in executing arithmetic operations, a floating-point processor is necessary when implementing a CDMA system, as a chaotic signal generator and a noise generator would require a wide dynamic range and high precision. Each processor on the EZ-KIT Lite platform has a clock speed of 600MHz, which is capable of executing 2400MIPS, 3600MFLOPS and 1200MMACS (Analog Devices Inc., 2014, Simic and Berber, 2006). This clock speed guarantees that the prototype of the CDMA system will be able to accommodate investigations of the multi-user signal transmission and the probability of error estimation.

The TigerSHARC processor is supported with development tools such as the VisualDSP++ environment, which allows programmers to develop and debug an application. The environment includes an assembler, a library builder, a linker, a loader, a cycle-accurate instruction level simulator, a C/C++ compiler and a C/C++ run time library that includes DSP and mathematical functions (Analog Devices Inc., 2014, Simic and Berber, 2006). The evaluation platform comes with a power supply and a USB connector cable that connects the user's PC with the evaluation board, which allows the user to program the processors and debug applications.

The developed prototype was designed using high-level C programming language. The developed software was fed into the processor as an assembly code using the Visual DSP++ environment. The developed code was loaded into the DSP platform and executed under the control of the external personal computer that was connected to the DSP board.

System prototype operation

The CDMA system based on the SVM receiver is designed and implemented in DSP technology. The block schematic of the systems is presented in Fig. 3. The structure of the prototype follows the structure of the theoretical and simulated model presented in Fig. 2. The prototype operates according to this brief description.

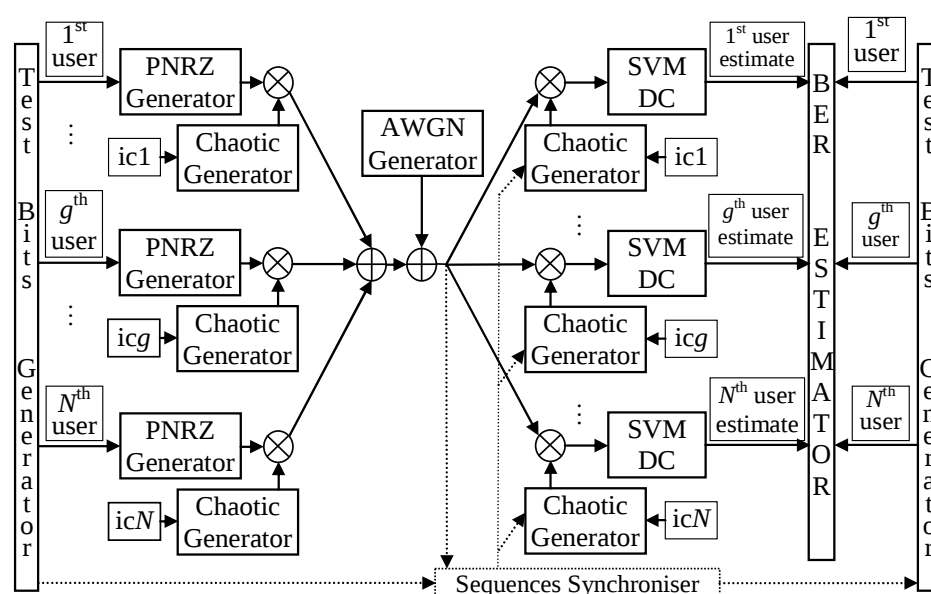


Figure 3 – Structure of the designed and implemented SVM CDMA system

Рис. 3 – Структура разработанной и внедренной системы SVM CDMA

Slika 3 – Struktura dizajniranog i razvijenog CDMA sistema sa SVM prijemnikom

The independent test pseudorandom sequences, representing users' sequences, are generated for all users and transferred into polar non-return to zero form. The sequences are multiplied (spread) by chaotic orthogonal sequences generated for different initial conditions (ic). Spread signals of all users are added and then transferred through the channel characterized by the Additive Gaussian Noise, obtained for the designed noise generator.

At the receiver side, the blocks of Chaotic Generators, SVM detectors and decision circuits (DC) are implemented for the reception of the signals and generation of the estimates of the bit received.

The estimated bit samples are compared with the synchronous locally generated user sequence and the bit error rate (BER) values are calculated as the ratio of the number of errors counted and the number of bits transmitted. The test bit generators at the transmitter side are synchronized with the bit samples obtained at the output of the decision circuit.

When the receiver operates with the correlator instead of the SVM, the SVM detector is replaced by an accumulator. In this case the remaining structure of the transmitter and the BER estimator are the same as in Fig. 3.

Test Bit Generator

The Test Bit Generator is designed as a 16-bit Fibonacci linear feedback shift register (LFSR), which has taps at the position of bits 11, 13, 14 and 16. With an even number of taps, it is possible for the LFSR to cycle through all possible states ($2^n - 1$ states, where n is the length of the LFSR) except when all values are zero. In this design, the Bit at LFSR tap 10 was extracted as the output, and used as a user bit value. The following condition was set on generated bits: if the input bit value is zero, then the output bit value would be equal to -1 . This established the function of a polar non-return to zero (PNRZ) encoder, as shown in Fig. 3. Every time the bit generator function was called, another bit value would be outputted. The bit generator function was used to generate message bits to feed into the transmitter function, and was also used to compare these bits in the BER calculator function with the received bit values. The bit generator would be reset (i.e. started from the beginning) when the BER calculation for a particular SNR value was complete. For this purpose, the synchronization between the estimated bit values at the receiver and the generated message bit values was established.

Chaotic sequence generators

Chaotic sequence generators were implemented in the discrete time domain where a particular chaotic signal value is derived from the chaotic signal value at the previous sampling time instant. For the chaotic generators implemented in DSP, the chaotic logistic map was used that is defined according to expression (1).

The values of a certain sequence are highly dependent on the initial condition (ic) which is independently generated for each user. According to the theory, by altering the initial condition slightly, the resultant sequences

can be a completely different and aperiodic. However, due to the inherent limited precision of DSPs, chaotic sequences tend to become periodic. Previous investigations of chaos-based communication systems have observed a range of initial conditions, and recorded corresponding discrete time periods, after which each sequence would start repeating itself (Vukadinovic and Berber, 2006). In the design presented in this paper, in order to avoid this periodicity, the following rule was applied: if the sequence reaches the time period value specified for that particular initial condition, the sequence is restarted with the same initial condition. The chaotic sequence generators are reset upon the completion of the BER calculation for a single SNR value.

Gaussian Noise samples

Gaussian noise samples are generated using the Box-Muller method which is based on generating two uniformly distributed samples U_1 and U_2 using the *rand(.)* function. These variables were then normalized by dividing by the RAND_MAX constant, which is defined in the library header file. U_1 and U_2 were then utilized by the Box Muller transform stated by (21) to produce the sample W which is a sample of a random variable having Gaussian distribution

$$W = \sqrt{-2\ln(U_1)} \cos(2\pi U_2). \quad (21)$$

The generated samples are having zero mean and unity variance. To generate samples for different SNR values, the Gaussian samples need to be multiplied by the value of the noise variance (Simic and Berber, 2006). The Gaussian value generator outputs the Gaussian sample. It is reset after each bit is decoded.

The signal to noise ratio (SNR) was changed by changing the noise power. For that purpose, a generator function was implemented that calculates the noise variance value for the desired SNR. The function takes the current SNR value and a reset value as inputs. It then calculates the energy of the current message bit, by squaring and summing the chaotic sequence values for the current message bit. Then it calculates the sigma value required for noise generation as

$$\sigma = \sqrt{\frac{E_b}{2 \cdot 10^{\text{SNR}/10}}}, \quad (22)$$

The sigma generator then outputs the sigma value calculated to the noise generator function. The sigma generator function is reset once the BER calculation for a single SNR value is complete.

The noise generator takes in the sigma value generated from the sigma generator for a particular message bit and a reset value as inputs. By multiplying the sigma value with the Gaussian sample generated, the resulting noise sample is then obtained at the output. In the main file, the noise generator is called on a per chip basis, and is added to the output of the transmitter function.

BER estimator

To evaluate the performance of the prototype system, the bit error rate (BER) was estimated by firstly setting an error threshold of 1000 errors, which gives a very high level of estimation accuracy obtained according to the method presented in (Berber, 1989).

The BER calculator function takes in the decision value from the SVM detector (or the correlator) and the bit generator output, and compares the two. If the values are not equal to one another, an implemented error counter increments by 1. Message bits are generated, transmitted, received and decoded until the error counter equals the error threshold. Once this happens, the total number of bits sent to achieve the threshold of 1000 errors is recorded. By dividing the error threshold by the number of bits sent, the BER for that particular SNR value, for defined both the number of users and the spreading factor, is calculated.

Once the theoretical BER and the BER of the system in DSP are calculated for a certain SNR value, the system repeats the same procedure for other SNR values if specified. The BER results are then stored in a text file in the debug folder.

Specific DSP design of the SVM detector and the decision circuit

Training phase

To generate support vectors, training data for a defined number of users and the spreading factor had to be generated first. Training data is made up of a number of samples from the output of the correlator function. A block diagram of the program implemented on the DSP to generate the training data is shown in Fig. 4.

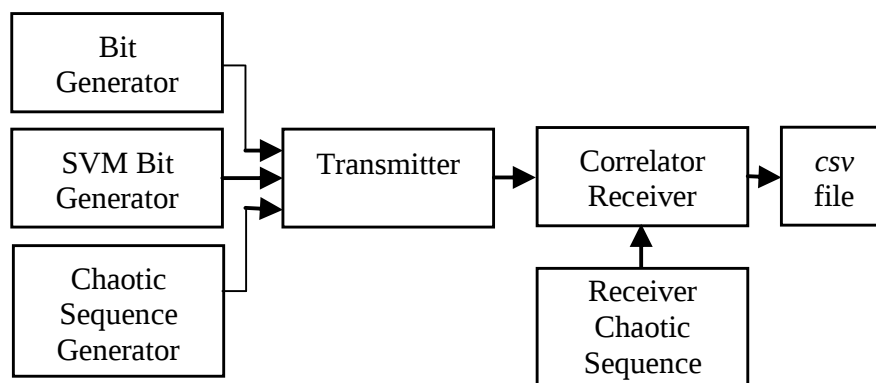


Figure 4 – Functional block diagram of the system for the training phase

Рис. 4 – Функциональная блок-схема системы для фазы подготовки

Slika 4 – Principski blok dijagram sistema u fazi treninga

The number of samples required for training depends on the SNR value. For this design, training data was subjected to no noise. Hence, 200 sample message bits sufficed: a hundred message bits of value +1 and a hundred message bits of value -1. The spreading factor was set to 20 as an appropriate number for this purpose (Kao, et al, 2008). The message bits were generated using a function called the SVM Bit Generator, as shown in Fig. 4, which generated 200 message bits that were assigned to the desired user only, while the interferers' user bits were generated from the Bit Generator function. Message bits for the desired user and message bits for interferers are spread with a chaotic sequence (Kao, et al, 2008), which was taken as an input from the Chaotic Sequence Generator.

The output of the transmitter function was taken as an input by the correlator function. The Receiver Chaotic Sequence block generates the desired user's chaotic sequence to be correlated with the incoming received sequence. The results of this correlation are stored in a csv file. Hence, after all 200 sample message bits are transmitted, the csv file would contain the each message bit value and the corresponding correlation values, which represents the training data that can be used to generate support vectors.

To generate support vectors using the training data stored in the csv file, training was carried out by the iterative single data algorithm (Kao, et al, 2008). The result of this training is a data file that contained the parameters such as weights, centers and bias values of the support vectors. To extract these parameters, a program created in Matlab was fed with this data file, and the parameters were stored in separate text files, which were then read by the program in DSP.

SVM receiver design

The implemented program first reads the weights, centers, bias values and the number of support vectors from the text files, which have been generated from the training data for a particular number of users. For additional users, or a change in the spreading factor, the training phase would have to be repeated to get a different set of support vectors, because the number of support vectors depends on the spreading factor and the number of users in the system. For example, for 2 users, and a spreading factor of 20, 3 support vectors were generated. However, if the number of users increases to 8, 20 support vectors would be generated.

The purpose of the SVM function is to compute the decision function defined by (6). At this point, it is necessary to make these observations. In equation (6), L is the number of support vectors generated for a particular number of users and the spreading factor, the variable $y_i \alpha_i$ is the weight that is generated for each support vector. The variable x_i represents the centers generated for each support vector. The number of centers for each support vector is of the spreading factor length, and each center is multiplied with each corresponding output value of the correlator denoted by x . The value b is the bias value. The SVM function computes the decision function for all the support vectors generated, and outputs a value which is fed into the decision circuit. This decision function is used to calculate the probability of error in (13) and (18), where the appropriate notation is used.

Results of the investigation and the comparison of the prototype with the theoretical and the simulation model

Probability of error analysis in the noisy channel

The bit error rates, for the system with the SVM and the correlator receiver implemented in DSP technology, are calculated after the support vector parameters were loaded onto the DSP. The BER for the CDMA system performance with the SVM incorporated in the receiver was measured for the SNR value range of -1dB to 8dB and the results are presented in Fig. 5 for a single user system. This BER curve is plotted against the simulation and theoretical curves investigated previously in (Kao, et al, 2008, 2010). The theoretical curves for the system with a correlator receiver, and with the SVM incorporated into the receiver are shown, along with the BER results from the Matlab simulations and the DSP prototype.

The SVM receiver has better BER performances than the correlator receiver. The SVM BER curves obtained by the theory are overlapping with the curve obtained by the simulation. The BER curve obtained by DSP SVM receiver follows quite closely the simulation curve. The improvement in the BER of the SVM in respect to the correlator receiver increases when the SNR increases.

This improvement in the BER is expected to be higher when the number of users increases due to the ability of the SVM receiver to eliminate the interuser interference. For this reason, the communication system was investigated for 4 active users in the system and the related BER curves are presented in Fig. 6

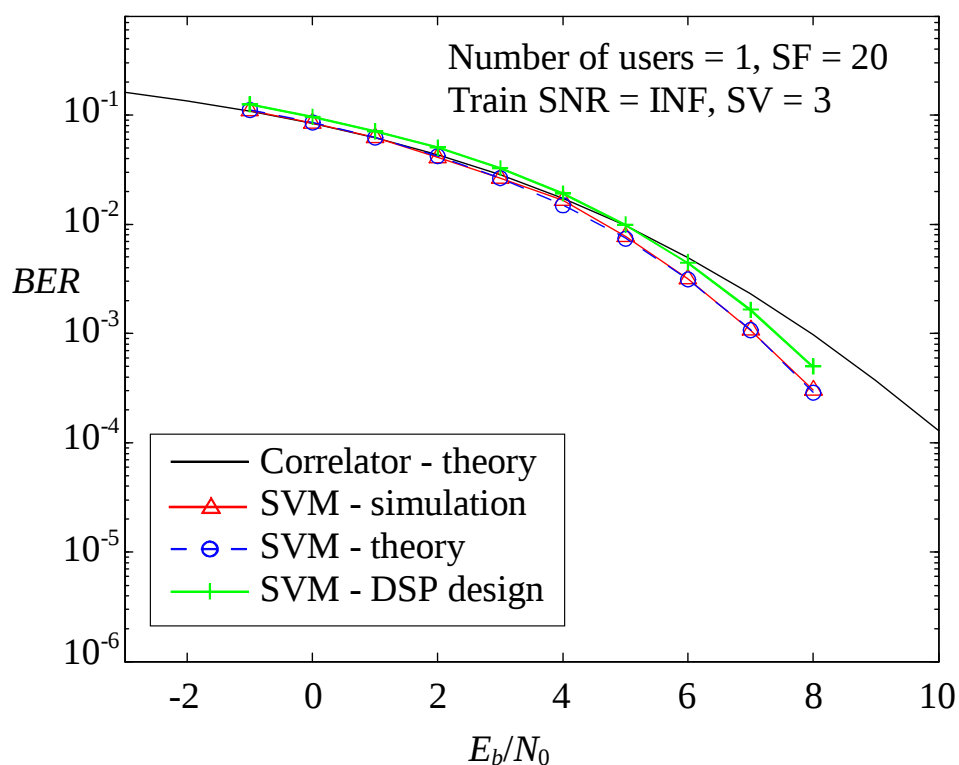


Figure 5 – BER curves, theoretical, simulated and DSP results for the system with the SVM for 1 user

Рис. 5 – Кривые вероятности битовой ошибки (BER), полученные при теоретическом моделировании и DSP результатах для системы SVMc одним пользователем

Slika 5 – Grafovi verovatnoće greške bita (BER) dobijeni prema teorijskim, simulacionim i DSP rezultatima za sistem sa SVM i za slučaj jednog učesnika

Firstly, it can be observed that the DSP BER curves match perfectly the simulation and theoretical curves obtained by relation (8). Secondly, the figure shows that the improvement in the BER of the SVM in respect to the correlator receiver increases substantially when the SNR increases. This matches perfectly well the theory which states that the SVM receiver eliminates the influence of the inter user interference. Namely, when the SNR is small, less than 2 dB in this case, the noise dominates and the BER is close to the correlator receiver.

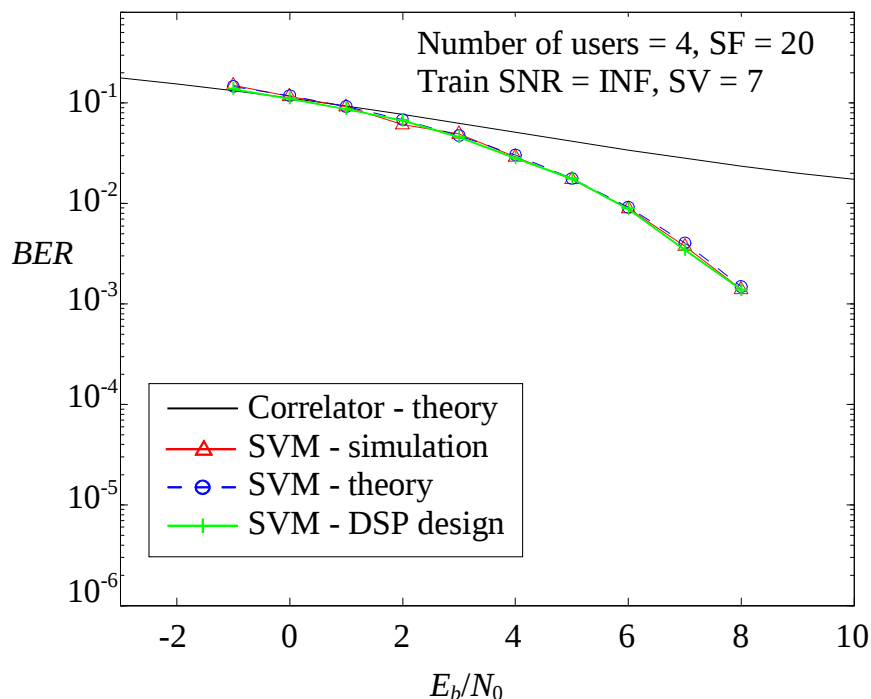


Figure 6 – Theoretical, simulated and SVM DSP BER curves for the CDMA system for 4 users. A theoretical BER curve for the correlator receiver is added for comparison.

Рис. 6 – Кривые вероятности битовой ошибки (BER), полученные при теоретическом моделировании и DSP результатах для систем CDMA и SVM с четырьмя пользователями. Теоретическая BER кривая корреляционного приемника приведена для сравнения

Slika 6 – Grafovi verovatnoće greške bita (BER) dobijeni prema teorijskim, simulacionim i DSP rezultatima, za CDMA sistem sa SVM i za slučaj četiri učesnika.

Teorijska BER kriva za korelatorski prijemnik je dodata radi upoređenja

However, when the SNR increases, then the BER improves in the SVM receiver due to the elimination of the inter-user interference. The curves for the correlator receiver have significantly higher BER values in this case due to the presence of interuser interference.

Probability of error analysis in the fading channel

In this paper, the closed form theoretical expression for the probability of error is derived in Section Three and expressed by (18). The BER graphs obtained by both that expression and the simulation are presented in Fig. 7 for two cases, when the number of users in the system is either 10 or 30.

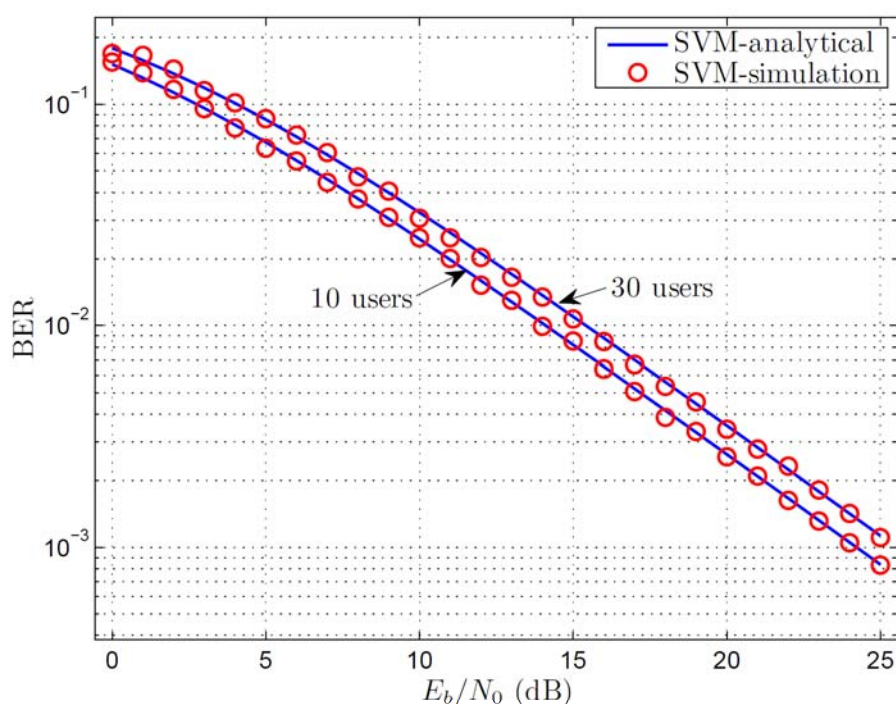


Figure 7 – BER curves obtained by both the theoretical expression in the closed form and the simulation

Рис. 7 – Кривые вероятности битовой ошибки (BER), полученные при теоретическом моделировании в закрытом канале

Slika 7 – Grafovi verovatnoće greške bita (BER) dobijeni prema teorijskom izrazu u zatvorenom obliku i na osnovu simulacije

In both cases the theoretical curves are matching very well the simulation curves. These curves are matching also the curves obtained by numerical integration as presented in reference (Kao, et al, 2010). The difference between a 10-user and a 30-user system are close to 1 dB. This result is expected because the CDMA system with the SVM detector eliminates the inter-user interference very well.

Speed estimation

The main purpose of this investigation related to the speed estimation was to compare the difference between the bit rates of the CDMA system implemented using the correlator receiver and the system with the SVM receiver. For this purpose 10^4 message bits were transmitted and received in both systems. The time taken for processing was measured for the spreading factor of 20. Fig. 8 shows the bit rates as a function of the number of users for both systems. The clock cycles, which are necessary to execute the relevant code, were measured and converted to the bit rate according to this expression

$$R_b = \frac{B \cdot f_c}{C \cdot N} \quad (23)$$

where R_b is the bit rate, B is the number of bits sent, f_c is the clock frequency, C are clock cycles and N is the number of users.

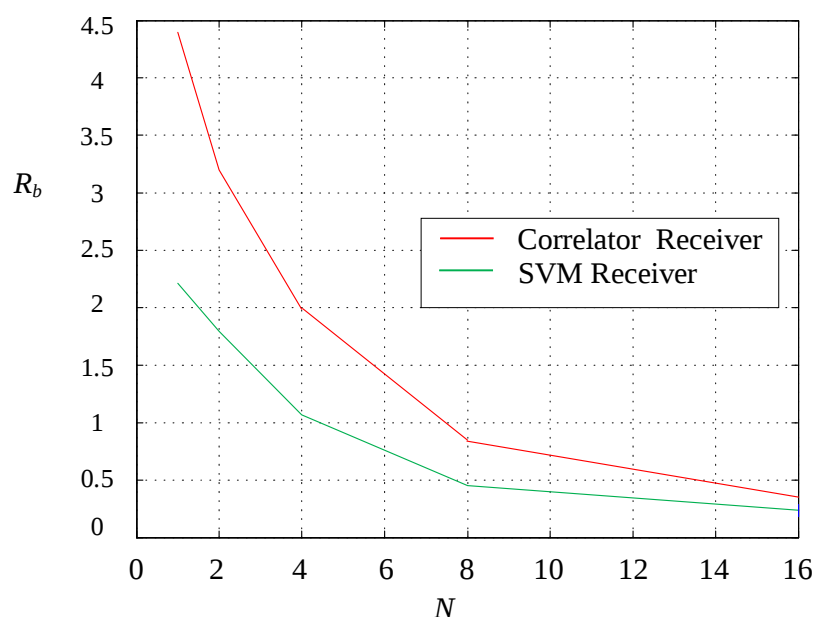


Figure 8 – Speed estimation for the system with the correlator receiver and the SVM receiver for a different number of users

Рис. 8 – Средняя скорость для системы корреляционного и SVM приемника с разным кол-вом пользователей

Slika 8 – Prosečna brzine za sistem sa korelatorskim i SVM prijemnicima za različiti broj učesnika

It was found that the bit rate was 1.5 to 2 times higher for the system with the correlator receiver than for the system with the SVM. Namely, in the SVM receiver, more computation is involved, and hence more processing time is required.

Therefore, from the BER performance results, it can be concluded that, by incorporating the SVM into the receiver, the performance of the system increases significantly in respect to the correlator receiver. However, the execution speed on DSP reduces considerably.

Conclusion

The design of a prototype CDMA system with a SVM receiver is implemented on the 32-bit floating point ADSP-TS201S TigerSHARC processor. The prototype was developed by creating functions in C language, and was programmed on the processor situated on a TS201S EZ-KIT Lite evaluation platform. It was confirmed that the robust prototype can be designed on this platform.

The training phase was performed to generate the support vectors via programs in Matlab software. The theoretical expression for the probability of error was derived in the closed form in the case when fading is present in the channel. The bit error rate (BER) measurement in the prototype system confirms that the SVM receiver performs better than the corresponding correlator receiver. The BER performance of the prototype matches theoretical and simulation results for varying both the spreading factor and the number of users.

The expected problem of the periodicity of spreading sequences due to the finite resolution of the DSP operations was solved by the re-initializing the chaotic sequence generators. Because the theoretical and simulation results matched very well the DSP results, it is obvious that the DSP resolution does not influence the performance of the system.

The results of the speed estimation analysis show that the CDMA system with the correlator receiver has a higher bit rate than the CDMA system with the SVM receiver, due to larger computation with support vectors. The speed in signal processing of the presented prototype is not sufficient to accommodate increasing demands in bit rates. However, a valuable experience is gained in system design and a possible speed increase through both the optimization of the existing processing algorithms and the application of the new DSP technologies. One of the streams of future research could be to make a prototype of the system in the case when fading is present in the channel and the methods of fading mitigations are applied, like chip interleaving.

References

- Analog Devices Inc. (2006). . Data Sheets. Retrieved from www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADSP_TS201S.pdf
- Berber, S. 1989. Techniques for Bit Error Rate Measurement Using Chebyshev Inequality. *Electronics Letters*, 25(14), pp.927-929.
- Berber, S., & Jovic, B. 2006. Sequence synchronization in a wideband CDMA system. . In: Proceedings of the 2006 International Conference on Wireless Broadband and Ultra Wideband Communications (AusWireless06), Sydney, Australia, pp.1-6.
- Berber, S.M., & Vali, R. 2011. Fading Mitigation in Interleaved Chaos-Based DS-CDMA Systems for Secure Communications.. In: 15th WSEAS Int. Conf. on Communications, Corfu, Greece, pp.1-6.
- Berber, S., & Feng, S. 2013. Chaos-Based Physical Layer Design for WSN Applications. . In: 17th WSEAS Int. Conf. on Communications, Rhodes, Greece, pp.157-162.
- Berber, S., & Feng, S. 2013. Theoretical Modelling and Simulation of a Chaos-Based Physical Layer for WSNs. *International Journal of Communications*, 7(2), pp.27-34.
- Berber, S.M. 2014. Theoretical Analysis and Simulation of a Code Division Multiple Access System (CDMA) for Secure Signal Transmission in Wideband Channels. *Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier*, 62(3).
- Buehrer, R.M., Correal-Mendoza, N.S., & Woerner, B.D. 2000. A simulation comparison of multiuser receivers for cellular CDMA. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 49(4), pp.1065-1085. doi:10.1109/25.875213.
- Chen, S., & Hanzo, L. 2002. Block-adaptive kernel-based CDMA multiuser detection. . In: Proc. IEEE Int. Conf. Comm, pp.682-686 vol. 2. April, pp.682–686.
- Chen, S., Samangan, A.K., & Hanzo, L. 2001. Support vector machine multiuser receiver for DS-CDMA signals in multipath channels. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 12(3), pp.604-611. doi:10.1109/72.925563.
- Cimatti, G., Rovatti, R., & Setti, G. 2007. Chaos-Based Spreading in DS-UWB Sensor Networks Increases Available Bit Rate. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, 54(6), pp.1327-1339. doi:10.1109/TCSI.2007.895378.
- Jevtović, V.M., & Pavlović, Z.B. 2011. Topološka analiza telekomunikacionih mreža. *Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier*, 59(1), pp.96-110.
- Jovic, B., Unsworth, C., Sandhu, B., & Berber, S. 2007. A robust sequence synchronization unit for multi-user DS-CDMA chaos-based communication systems. *Signal Processing*, 87(7), pp.1692-1708.
- Kaddoum, G., Roviras, D., Charge, P., & Fournier-Prunaret, D. 2009. Robust synchronization for asynchronous multi-user chaos-based DS-CDMA. *Signal Processing*, 89(5), pp.807-818.
- Kaddoum, G., & Gagnon, F. 2012. Design of a High-Data-Rate Differential Chaos-Shift Keying System. *IEEE Trans. Circuits Syst*, 59(7), pp.448-452.
- Kaddoum, G., Richardson, F.D., & Gagnon, F. 2013. Design and Analysis of a Multi-Carrier Differential Chaos-Shift Keying Communication System. *IEEE Tr. on Comm.*, 61(8), pp.3281-3291.
- Kao, J., & Berber, S.M. 2008. Demodulation of a chaos-based CDMA system using support vector machine. In: 3rd International Symposium on Wireless Pervasive Computing, ISWPC. pp.69–72.
- Kao, J., Berber, S.M., & Kecman, V. 2008. Blind Multi-User Detection of a Chaos-Based CDMA System Using Support Vector Machine. . In: IEEE 10th International Symposium on Spread Spectrum Techniques and Applications, ISSSTA '08, pp.58–62.

Kao, J., Berber, S.M., & Kecman, V. 2010. Blind Multi-User Detector of a Chaos-Based CDMA Using Support Vector Machine. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 21(8), pp.1221-1231.

Kecman, V. 2001. *Learning and Soft Computing: Support Vector Machines, Neural Networks, and Fuzzy Logic Models*. MIT Press.

Kolumban, G., Kennedy, M.P., & Chua, L.O. 1997. The role of synchronization in digital communications using chaos. I. Fundamentals of digital communications. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications*, 44(10), pp.927-936. doi:10.1109/81.633882.

Kolumban, G., Kennedy, M.P., & Chua, L.O. 1998. The role of synchronization in digital communications using chaos. II. Chaotic modulation and chaotic synchronization. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications*, 45(11), pp.1129-1140. doi:10.1109/81.735435.

Kolumban, G., & Kennedy, M.P. 2000. Communications using chaos>>MINUS. III. Performance bounds for correlation receivers. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications*, 47(12), pp.1673-1683. doi:10.1109/81.899919.

Kuh, A., & Gong, H. 1999. Support Vector Machine for Multiuser Detection. In: *CDMA Communications, Thirty-Third Asilomar Conference on Signals, Systems, and Computers*. vol. 1, pp.680-684.

Lim, C., Lee, S.R., & Chang, J.H. 2012. Efficient Implementation of an SVM-Based Speech/Music Classifier by Enhancing Temporal Locality in Support Vector References. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 58(3), pp.898-904.

Li-Mei, C., & Bor-Sen, C. 2001. A robust adaptive DFE receiver for DS-CDMA systems under multipath fading channels. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 49(7), pp.1523-1532. doi:10.1109/78.928705.

Markagić, M.S. 2010. Komunikacioni kanal sa šifrovanjem informacija. *Vojnotehnički glasnik/Military technical Courier*, 58(3), pp.88-104.

Mazzini, G., Setti, G., & Rovatti, R. 1997. Chaotic complex spreading sequences for asynchronous DS-CDMA. I. System modeling and results. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications*, 44(10), pp.937-947. doi:10.1109/81.633883.

Mazzini, G., Rovatti, R., & Setti, G. 2001. Chaos-based asynchronous DS-CDMA systems and enhanced rake receivers: measuring the improvements. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications*, 48(12), pp.1445-1453. doi:10.1109/TCSI.2001.972851.

Moshavi, S. 1996. Multi-user detection for DS-CDMA communications. *IEEE Communications Magazine*, 34(10), pp.124-136. doi:10.1109/35.544334.

Poor, H.V., & Verdu, S. 1997. Probability of error in MMSE multiuser detection. *IEEE Transactions on Information Theory*, 43(3), pp.858-871. doi:10.1109/18.568697.

Radonjić, V.M., & Gaćeša, N.N. 2011. Uticaj sredine na prostiranje elektromagnetnih talasa kod digitalnih radio-relejnih uređaja GRC 408E. *Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier*, 59(1), pp.40-61.

Rovatti, R., Setti, G., & Mazzini, G. 1998. Chaotic complex spreading sequences for asynchronous DS-CDMA. Part II. Some theoretical performance bounds. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications*, 45(4), pp.496-506. doi:10.1109/81.669073.

- Rovatti, R., Mazzini, G., & Setti, G. 2001. Enhanced rake receivers for chaos-based DS-CDMA. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications*, 48(7), pp.818-829. doi:10.1109/81.933323.
- Sandhu, G.S., & Berber, S. 2006. Investigation On Orthogonal Signals For Secure Transmission In Multiuser Communication Systems. In: The 1st International Conference on Wireless Broadband and Ultra Wideband Communications AusWireless'06, Sydney, Australia, pp.1-6.
- Sandhu, G.S., & Berber, S. 2009. Theoretical Model, Simulation Results and Performances of a Secure Chaos-based Multi-user Communication System. *International Journal of Network Security*, 8(1), pp.25-30.
- Setti, G., Rovatti, R., & Mazzini, G. 1999. Synchronization Mechanism and Optimization of Spreading Sequences in Chaos-Based DS-CDMA Systems. *IEICE TRANS. on Fundamentals of Elec., Commun. And Computer Sciences*, 9, pp.1737-1746.
- Simic, Lj., & Stevan, B.M. 2006. Performance Analysis of a Chaos-Based Multi-User Communication System Implemented in DSP Technology. In: The 1st International Conference on Wireless Broadband and Ultra Wideband Communications AusWireless'06, Sydney, Australia, pp.1-6.
- Sokolović, B.C., Oklopčija, M.N., & Marković, G.B. 2011. Izbor metoda sinhronizacije u softverskom GPS prijemniku. *Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier*, 59(2), pp.94-110.
- Šunjevarić, M.M., Popović, M.L., & Todorović, B.M. 2013. Integracija digitalne radio-difuzne mreže mobilne televizije i ćelijske mreže treće generacije. *Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier*, 61(1), pp.21-45.
- Tam, W.M., Lau, F.C.M., & Tse, C.K. 2004. A Multiple Access Scheme for Chaos-Based Digital Communication Systems Utilizing Transmitted Reference. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, 51(9), pp.1868-1878. doi:10.1109/TCSI.2004.834497.
- Torrieri, D., Mukherjee, A., & Kwo, H.M. 2010. Coded DS-CDMA Systems with Iterative Channel Estimation and no Pilot Symbols. *IEEE Trans. on Wireless Comm.*, 9(6), pp.2012-2021.
- Vali, R., Berber, S., & Nguang, S.K. 2010. Analysis of a Chaos-based Non-coherent Delay Lock Tracking Loop. In: International Conference on Communications, Cape Town, pp.1-5.
- Vali, R., Berber, S., & Nguang, S.K. 2010. Effect of Rayleigh fading on non-coherent sequence synchronization for multi-user chaos based DS-CDMA. *Signal Processing*, 90(6), pp.1924-1939.
- Verdú, S. 1998. *Multiuser Detection*. Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- Vukadinovic, S., & Berber, S. 2006. *Theory, Design and Implementation of Chaotic Sequence Generators in CB-CDMA Systems*, No 642. Auckland: Auckland University. School Report, p.30.
- Wang, L. 2005. *Support Vector Machines: Theory and Applications*. Berlin: Springer.
- W.M.Tam, , F.C.M.Lau, , C.K.Tse, , & Lawrance, A.J. 2004. Exact Analytical Bit Error Rates for Multiple Access Chaos-Based Communication Systems. *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, 51(9), pp.473-481. doi:10.1109/TCSII.2004.832773.
- Xiao, P., & Strom, E. 2010. Soft Demodulation for Orthogonal Modulated and Convolutionally Coded DS-CDMA Systems. *IEEE Trans. on Comm.*, 58(3), pp.742-747.
- Yang, T., & Hu, B. 2005. *Study of Multiuser Detection: The Support Vector Machine Approach*. pp.442–451.
- Yang, T., & Hu, B. 2006. *Blind multiuser detection based on kernel approximation*. Heidelberg, Germany: Springer., vol. 3973, pp.94-101.

Yue, L., Weerasinghe, N.S., Han, C., & Hashimoto, T. 2010. Partial Multiuser Detection for CS-CDMA/CP over Multipath Channels. *IEEE Trans.on Comm*, 58(8), pp.2305-2313.

Zhao, X., & Kuh, A. 2002. Adaptive kernel least square support vector machines applied to recover DS-CDMA signals. . In: Proc. 36th Asilomar Conf. Signals Syst. Comput, pp.943-947.

ПРОТОТИП МНОГОПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОЙ СИСТЕМЫ, ОСНОВАННОЙ НА КОРЕЛЛЯЦИОННЫХ ПРИЕМНИКАХ ИЛИ ОПОРНЫХ ВЕКТОРАХ

Стеван М. Бербер

The University of Auckland, ECE Department, Новая Зеландия

ОБЛАСТЬ: телекоммуникации, беспроводная система коммуникации

ВИД СТАТЬИ: оригинальная научная статья

ЯЗЫК СТАТЬИ: английский

Резюме:

Технология многопользовательской системы коммуникации с кодовым распределением каналов (CDMA) используется в современных беспроводных сетях, таких как сотовые, радиотелефонные сети и беспроводные сенсорные сети.

Развитие передачи сигнала на физическом уровне в сети, основано на применении двоичных последовательностей в расширении зоны сигнала и применении корреляционных приемников.

В данной работе описана разработка приемопередатчика CDMA сигналов, при применении новых коммуникационных методов, основанных на хаотической последовательности в расширении зоны сигналов, обеспечивая тем самым защиту передачи сообщений в системе, применяя методы новых технологиях обнаружения сигналов при использовании машины опорных векторов в приемнике (SVM – приемник) и традиционного применения корреляционных приемников.

Проведен теоретический анализ обеих моделей приемников, включая вывод вычисления вероятности битовых ошибок в каналах с замираниями (фединг) сигналов, затем произведено внедрение в цифровые технологии (DSP) на 32-битовую процессорную платформу TigerSHARC.

Сопоставление этих систем показало, что решение применения машины опорных векторов (SVM – приемник) улучшает робастность системы за счет снижения скорости потока.

В то время как осуществленный поток битов корреляционного приемника в два раза превышает поток битов приемника машины опорных векторов.

Ключевые слова: прямохаотические системы связи; SVM корреляционный приемник; CDMA системы; DSP развитие CDMA систем.

PROTOTIP VIŠEUČESNIČKOG SISTEMA BAZIRANOG NA PRIJEMNICIMA SA KORELATORIMA ILI MAŠINOM PODRŽAVAJUĆIH VEKTORA

Stevan M. Berber

The University of Auckland, ECE Department, Novi Zeland

OBLAST: telekomunikacije, bežični komunikacioni sistemi

VRSTA ČLANKA: originalni naučni članak

JEZIK ČLANKA: engleski

Sažetak:

Tehnike višeučesničkih komunikacija sa kodnom raspodelom kanala (CDMA) koriste se u modernim bežičnim mrežama kao što su mobilne radio-telefonske mreže i bežične senzorske mreže.

Razvoj prenosa signala na fizičkom nivou u ovim mrežama zasnovan je na primeni binarnih sekvenci za proširenje signala i primeni korelatorskih prijemnika. U ovom radu prikazan je razvoj primopredajnika za prenos CDMA signala korišćenjem nove komunikacione metode zasnovane na primeni haotičnih sekvenci za proširenje signala, čime se može povećati zaštita u prenosu poruka u sistemu, i razvojem nove tehnike detekcije signala korišćenjem mašina sa podržavajućim vektorima u prijemniku (SVM prijemnik) i tradicionalno korišćenog korelatorskog prijemnika. Oba razvijena prijemnika su teorijski analizirana, uključujući izvode izraza za verovatnoću greške bita u zatvorenom obliku u slučaju kanala sa fadingom, a zatim je izvršena njihova implementacija u digitalnoj tehnologiji (DSP) na 32-bitnoj procesorskoj platformi TigerSHARC. Poređenje ova dva sistema pokazalo je da rešenje sa mašinom sa podržavajućim vektorima (SVM prijemnik) poboljšava robustnost sistema po cenu smanjenja brzine procesiranja. Međutim, ostvarljivi protok bita kod prijemnika sa korelatorom bio je dva puta veći nego kod prijemnika koji koristi mašinu sa podržavajućim vektorima.

Uvod

Ovih godina porastao je interes da se optimizuju prijemnici u bežičnim komunikacijama radi potrebe za prenosom velike količine podataka i ostvarenja energetske efikasnosti, posebno u području mobilnih komunikacionih sistema i bežičnih senzorskih mreža. Radi ovih zahteva očekuje se novi razvoj u oblasti dizajna prijemnika kako bi se smanjila njihova složenost i povećala energetska efikasnost.

Da bi se ostvario prenos vešeučesničkih signala može da se koristi tehnika prenosa sa kodnom raspodelom kanala (CDMA), koja omogućava istovremenu komunikaciju više učesnika u istom komunikacionom sistemu tako da se svakom učesniku dodeli jedinstvena kodna sekvenca kojom se proširuje signal poruke u predajniku i koja se koristi u prijemniku kako bi se otkrio sadržaj poslate poruke. Razvoj prijemnika ovih sistema tradicionalno se zasnivao na primeni usklađenih filtera i korelatora.

U poslednje vreme došlo je do preliminarnih istraživanja o mogućoj primeni mašina sa podržavajućim vektorima (SVM), kao jednoj od alternativa za dizajn prijemnika za CDMA sisteme, zbog njihove sposobnosti da prevladaju među-učesničku interferenciju i da se prilagode na dinamične komunikacione zahteve u odnosu na broj učesnika i karakteristike sekvenci za proširenja signala. Međutim, do sada nema radova koji govore o hardverskoj implementaciji ili praktičnoj primeni ovakvih prijemnika, što je bila dodatna motivacija autoru da objavi rezultate istraživanja o dizajnu prototipa ovog sistema.

Kommunikacioni sistemi koji koriste haotične sekvence bili su predmet značajnih istraživanja, a posebno CDMA sistemi koji koriste klasične i haotične sekvence za proširenje signala, pri čemu je problem sinhronizacije naširoko ispitivan. Većina radova analiziralo je ove sisteme za slučaj prisutnosti ravnog fedinga u kanalu prenosa. Detaljna analiza CDMA sistema sa širokopojasnim, frekvencijski selektivnim kanalima urađena je tek u poslednje vreme. Zbog ograničene ortogonalnosti sekvenci za proširenje signala dolazi do povećanja interučesničke interferencije sa povećanjem broja učesnika u CDMA sistemu. Da bi se prevladao ovaj problem razvijeni su multiučesnički detektori, a posebno detektori koji su zasnovani na primeni mašina sa podržavajućim vektorima (SVM).

Uprkos tome što su SVM tehnike primenjene za detekciju signala, nije bilo objavljenih radova koje prikazuju razvoj ovih uređaja u digitalnoj (DSP) tehnologiji. Ova činjenica motivisala je autora da prikaže svoje rezultate u vezi s dizajnom i testiranjem prototipa CDMA sistema uporedo sa rezultatima analize sistema koji koristi korelatorski prijemnik radi upoređenja ovih sistema. Karakteristike oba prototipa sa aspekta stepena greške bita (eng. BER) upoređene su i prikazane odnosne karakteristike teorijskog i simulacionog modela. Provedena teorijska i simulaciona analiza pokazale su prednosti tehnike SVM-a i dobro slaganje teorijskih i praktičnih rezultata.

Pošto izraz za verovatnoću greške bita nije još bio izveden u zatvorenom obliku za SVM CDMA sistem, autor je izveo ovaj izraz i prezentirao grafove za stepen greške bita (BER). Pokazano je da se ovako dobijeni grafovi za BER slažu sa odgovarajućim grafovima koji su dobijeni numeričkom integracijom, što dokazuje validnost izvedene teorijske formule.

U radu su upoređena dva sistema – sistem sa SVM prijemnikom i sistem sa korelatorskim prijemnikom, i pokazano je da korelatorski prijemnik ostvaruje veći digitalni protok. Što se tiče kompleksnosti dizajna, dokazano je da SVM prijemnik zahteva duže vreme za procesiranje signala. Prikazana procedura poređenja i dobijeni grafovi su rezultati vredni pažnje.

Višeučesnički sistem zasnovan na korišćenju haotičnih sekvenci i SVM prijemnika

U ovom odeljku prikazana je blok-šema SVM prijemnika i objašnjen princip rada svih blokova. Objašnjen je princip generisanja haotičnih sekvenci i prikazana funkcija korelacije i unakrsne korelacije u grafičkoj formi. Posebno je objašnjen princip rada SVM detektora. Izvedeni su izrazi za verovatnoću greške bita u zatvorenom obliku za SVM prijemnik u slučaju kada je u kanalu prisutan šum i ravni feding.

Razvoj i implementacija sistema sa SVM i korelatorskim prijemnikom

Definisana je uskopojasni kanal sa ravnim fadingom. Takođe, izvršena je matematička analiza sistema, tako što su prikazani signali na ključnim tačkama prijemnika i predajnika. Prikazan je izraz za signal na izlazu korelatora sekvenci, a zatim izveden izraz za verovatnoću greške bita u zatvorenom obliku i analiziran sa aspekta uticaja broja učesnika u sistemu i sa aspekta vrednosti faktora proširenja signala.

Prikazane su karakteristike DSP platforme na kojoj je urađen prototip sistema, tako što su objašnjene osnovne karakteristike DSP ploče proizvođača Analog Devices. Prikazana je blok-šema razvijenog sistema i objašnjen princip njenog rada. Naglašeno je da struktura prototipa veoma dobro prati strukturu teorijskog i simulacionog modela o kojima je bilo reči na početku rada. Objasnjena je procedura generisanja haotičnih sekvenci sa posebnim osvrtom na problem generisanja aperiodičnih sekvenci. Pri razvoju sistema korišćena je Boks-Milerova metoda za generisanje Gausovog šuma, koja se zasniva na generisanju dva niza nezavisnih slučajnih uzoraka koji imaju uniformnu funkciju distribucije verovatnoća. Poslednja sekcija posvećena je problemu tačne estimacije vrednosti BER -a za definisanu vrednost odnosa signal–šum.

Razvoj SVM detektora i sklopa odluke

U ovom delu objašnjeno je kako se generišu vektori podrške i podaci treninga za definisani broj učesnika i određeni faktor proširenja signala. Podaci treninga prikazani su u formi izvesnog broja uzoraka kao rezultat obrade u korelatoru. Broj uzoraka zavisi od vrednosti odnosa signal–šum. Da bi se generisali vektori podrške na osnovu ovih podataka, koji su memorisani u posebnoj fajlu, nastavljen je trening uz korišćenje iterativnog algoritma. Rezultat ovog treninga je fajl podataka koji sadrži parametre kao što je težinski faktor, centralna vrednost i pristranost vektora podrške.

Rezultati ispitivanja i upoređenja prototipa sa teorijskim i simulacionim modelom

U ovom odeljku prikazani su procedura i rezultati testiranja prototipa, uključujući: analizu verovatnoće greške bita u kanalu sa šumom sa odnosnim grafovima za slučajeve kada su jedan ili četiri učesnika prisutni u sistemu, zatim verovatnoću greške bita kada je ravni fading prisutan u kanalu sa odnosnim grafovima za 10 i 30 učesnika, i na kraju, kratku analizu stepena greške bita koji se može ostvariti korišćenjem korelatorskog prijemnika u odnosu na SVM prijemnik, čime je pokazano da SVM prijemnik ostvaruje manji bitski protok nego korelatorski prijemnik.

Zaključak

Urađen je razvoj prototipa CDMA sistema, koji koristi haotične sekvence i SVM prijemnik, pri čemu je korišćena razvojna platforma 32-bitnog ADSP-TS201S TigerSHARC procesora. Ovaj prototip razvijen je tako što su funkcije sistema implementirane u C jeziku na procesoru koji je smešten na TS201S EZ-KIT Lite razvojnoj platformi. Potvrđeno je da se na ovoj platformi može implementirati prototip koji sledi simulacioni i teorijski model.

Korićena je faza treninga da bi se generisali podržavajući vektori koristeći Matlab program. Izveden je izraz za verovatnoću greške bita u zatvorenom obliku za slučaj kada je ravni fading prisutan u kanalu prenosa signala. Merenjem na prototipu sistema pokazano je da je stepen greške bita bolji kod prijemnika sa SVM nego kod korelatorskog prijemnika. Vrednosti stepena greške bita prototipa, za različite faktore proširenja i promenljivi broj učesnika, slažu se sa odgovarajućim vrednostima dobijenim na simulacionom i teorijskom modelu.

Očekivani problem periodičnosti haotičnih sekvenci proširenja signala zbog konačne rezolucije u DSP dizajnu rešen je tako što se vršila ponovljena inicijalizacija generatora sekvenci. Pošto su se teorijski i eksperimentalni rezultati dobro poklopili očigledno je da DSP rezolucija nema uticaja na performanse sistema.

Rezultati ocene brzine obrade signala pokazali su da CDMA sistem sa korelatorskim prijemnikom ima veći bitski protok nego SVM prijemnik, što je rezultat dužeg procesiranja signala pri računanju podržavajućih vektora. Ova brzina procesiranja ostvarena na prototipu ne može da zadovolji povećane potrebe za bitskim protokom u realnim sistemima. Međutim, veoma korisna iskustva stečena su prilikom razvoja ovog prototipa i sagledane mogućnosti kako da se procesiranje ubrza kroz optimizaciju algoritama i primenu novih digitalnih tehnologija. Mogući pravac budućih istraživanja mogao bi da bude usmeren ka izradi prototipa sistema koji koristi metode eliminacije fadinga, kao što je metoda učešljavanja čipova.

Ključne reči: haotični komunikacioni sistemi, SVM i korelatorski prijemnik, CDMA sistemi, DSR razvoj CDMA sistema.

Datum prijema članka / Дата получения работы / Paper received on: 26. 08. 2015.
Datum dostavljanja ispravki rukopisa / Дата получения исправленной версии работы / Manuscript corrections submitted on: 24. 10. 2015.
Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje / Дата окончательного согласования работы / Paper accepted for publishing on: 26. 10. 2015.

© 2016 Autor. Objavio Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (www.vtg.mod.gov.rs, втр.мо.унр.срб). Ovo je članak otvorenog pristupa i distribuiran se u skladu sa Creative Commons licencom (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2016 Автор. Опубликовано в "Военно-технический вестник / Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier" (www.vtg.mod.gov.rs, втр.мо.унр.срб). Данная статья в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией "Creative Commons" (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2016 The Author. Published by Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (www.vtg.mod.gov.rs, втр.мо.унр.срб). This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).



KINETICS OF YTTRIUM DISSOLUTION FROM WASTE CERAMIC DUST

Srećko R. Stopić^a, Bernd G. Friedrich^b

RWTH Aachen University, Faculty of Georesources and Materials Engineering, IME Process Metallurgy and Metal Recycling, Aachen, Germany

^a e-mail: sstopic@ime-aachen.de,

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0002-1752-5378>

^b e-mail: bfriedrich@ime-aachen.de

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0002-2934-2034>

DOI: 10.5937/vojtehg64-8668

FIELD: Chemical Technology

ARTICLE TYPE: Original Scientific Article

ARTICLE LANGUAGE: English

Summary:

Yttrium is a silvery transition metal and has similar chemical properties to lanthanoids. Because of this similarity, yttrium belongs to rare earth elements. Yttrium and yttrium oxide are mostly used in fluorescent lamps, production of electrodes, in electronic filters, lasers, superconductors and as additives in various materials to improve their properties. Yttrium is mainly recovered from the minerals monazite [(Ce,La,Th,Nd,Y)PO₄] and xenotime YPO₄. The presence of radioactive elements such as thorium and uranium in the ore makes it difficult to separate yttrium oxide from primary raw materials. Environmental regulations are getting stricter every year, thus increasing the risk of lacking the supply of rare earths. Therefore, recovery of yttrium oxide from secondary sources such as red mud, coatings from ceramic industry and phosphors is extremely important. The main aim of this study is to examine the yttrium dissolution kinetics from waste ceramic dust using hydrochloric acid.

Key words: yttrium, recycling, hydrometallurgy, ceramics.

Introduction

Yttrium is always found with rare earth elements in minerals. Rare earth metals are increasingly establishing themselves as crucial industrial materials, with unique applications in numerous fields (Kim

* ACKNOWLEDGMENT: I would like to thank M.Sc. Marc Spinnräker for his work on selective dissolution of yttrium from waste materials at the IME Process Metallurgy and Metal Recycling of the RWTH Aachen University in Germany.

and Osseo-Asare, 2012, pp.67-78). The feasibility of using yttrium oxide as a crucial material or a coating for induction melting of titanium is widely used in metallurgy. The native source of yttrium can be found in hard rocks and placer sands. Hard rock deposits are mined by open pit and underground methods. The aim of physical beneficiation is increasing the necessary mineral content by exploiting some physical processes. During physical beneficiation, accompanying minerals such as ilmenite, rutile, zircon, magnetite, and quartz are separated, which results in the formation of a concentrate with an increased content of rare earth elements. During a chemical treatment of a concentrate, rare earths are separated from impurities, especially thorium and uranium from minerals. This is accomplished by attacking minerals with some leaching agents. The process parameters such as temperature, pressure, chemical type and concentration of the leaching agent differ in accordance with the mineral type. In monazite applications, sodium hydroxide and sulfuric acid are mostly used as leaching agents. In the dissolution process, rare earth elements and thorium are precipitated in the hydroxide and sulfate forms. In the alkali application, the formed rare hydroxides are dissolved in the next step with either hydrochloric or nitric acid where thorium is not soluble (Sung-Don, 2010, pp.70-76). Cold water is used to dissolve rare earth sulfates in an acid treatment. The dissolution of xenotime is similar to monazite digestion. It requires more concentrated leaching agents and higher process conditions. During the subsequent separation, individual rare earth elements are separated from their mixtures. Fractional crystallization and solvent extraction (Amaral and Morais, 2010, pp.498-503) are mostly used for this separation.

Yttrium is generally recovered from monazite or xenotime minerals via an acid and an alkaline route as shown in Figure 1.

A full process for the recovery of rare earth elements from a composite ore containing rare earth elements, including a monazite mineral group and an apatite mineral, contains the pre-leaching of the composite ore with an acid in order to substantially dissolve the apatite mineral into the leach liquor and precipitate rare earth elements from the pre-leach liquor (Mackowski et al, 2009, US Patent 0272230 A1). An analysis of a combined hydro-pyrometallurgical route for the processing of ores resulting in the production of rare earth elements was investigated using the Chuktukon ores in East Siberia in Russia (Kuzmin et al., 2012, pp.1-16). The main aim of this work by Kuzmin was to develop methods of unlocking rare earth elements in refractory ores and to study some methods for their further chemical processing.

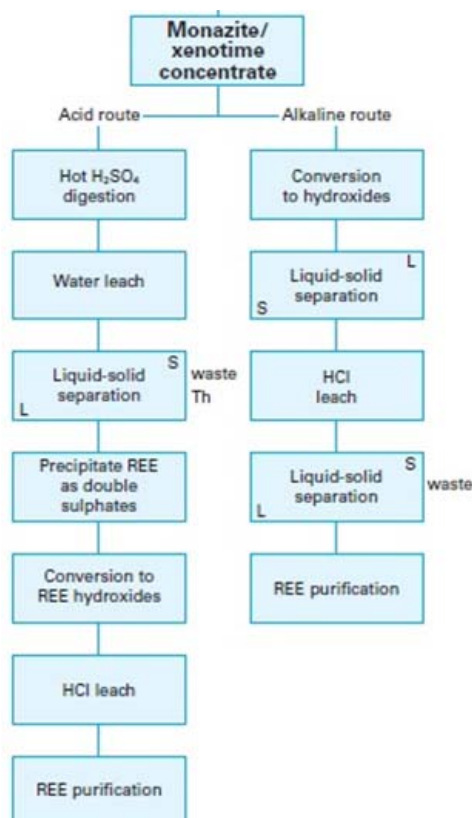


Figure 1 – Flow diagram of the dissolution of monazite and xenotime
 Рис. 1 – Диаграмма процесса растворения моноцита и ксенотима
 Slika 1 – Dijagram toka rastvaranja monazita i ksenotima

The precipitation of a cleaned solution with oxalic acid and the thermal decomposition of a formed metal oxalate after filtration with its previous drying represent the final steps in the production of rare earth oxides (Ibrahim and El-Hussaini, 2007, pp.11-17).

The importance of yttrium and other rare earth elements is increasing in the transition to green economy because of their essential role in permanent magnets, lamp phosphors, catalysts, rechargeable batteries, etc. Due to the fact that China presently produces more than 90% of the global REE output and has an increasingly tight export quota, the rest of the world is in the risk of lacking REE supply. Because of the absence of economical and/or operational primary deposits on their territories, many European countries have to be included into the recycling of REEs from pre-consumer scrap, industrial residues and REE-containing End-of-Life products. Despite considerable, mostly lab-

scale research effort to recycle REEs, less than 1% of REEs were recycled by 2011. This is mainly due to inefficient collection, technological problems and, especially, a lack of incentives. A drastic improvement in the recycling of REEs is, therefore, an absolute demand. This can only be realized by developing efficient, fully integrated recycling routes, which can take advantage of the rich REE recycling literature. In Table 1, secondary materials for REEs are listed (Binnemans, 2013, pp.1-22.)

Table 1 – REE-containing streams for recycling
 Tabela 1 – Vrste otpada kao izvori retke zemlje za recikliranje
 Таблица 1 – Виды отходов как источник сырья для рециклирования

Materials stream & application	REEs	Present / future contribution
1. Preconsumer production scrap and residues		
REE containing residues arising during metal production/recycling	All REEs	Increasing
Postsmelter and Electric Arc Furnace residues	Ce, La, critical REEs	Future levels depend on End-of-Life presmelter recycling
Industrial residues (phosphogypsum, red mud, etc.)	All REEs	Relatively stable
2. End-of-Life products containing		
Phosphors	Eu, Tb, Y (Ce, Gd, La)	
Fluorescent lamps (straight/curved)	Eu, Tb, Y (Ce, Gd, La)	Relatively stable
Compact fluorescent lamps (CFLs)	Eu, Tb, Y (Ce, Gd, La)	Increasing
LEDs	Ce, Y	Increasing
LCD Backlights	Eu, Tb, Y (Ce, Gd, La)	Relatively stable
Plasma Screens	Eu, Tb, Y (Ce, Gd, La)	Relatively stable
Cathode-ray tubes (CRTs)	Eu, Y	Sharply decreasing
CRT phosphors, fluid, glass polishing powders, optical glass, cracking catalysts,	All REEs	
3. Landfilled REEs containing residues		
Industrial residues (phosphogypsum, red mud, etc.)	All REEs	Depending on a residue type

One of the major challenges in the processing of used phosphors for the extraction of rare earths lies in a large number of different compounds and their individual chemical properties such as solubility in an aqueous phase (Poscher, 2013, pp.1217-1222). The summary of this

work showed that the hydrochloric leaching of a screened luminophore powder followed by the precipitation of a contaminated RE oxalate, converting the mixture into their oxides and subsequent raffination in order to dissolve most of the alkali metal oxides leads to a RE concentrate which could be applied as a new raw material for the subsequent process steps of refining.

The dissolution of non-ferrous metals from ores into a solution during high pressure leaching in an autoclave was described in detail (Author, 2011, pp.29-44.) for some nonferrous metals such as nickel and cobalt. A hydrometallurgical treatment has a lot of advantages compared to a pyrometallurgical treatment.

In this work, a dissolution of yttrium from waste ceramic dust under atmospheric and high pressure was studied in detail. The influence of different process parameters such as leaching temperature and time, concentration of hydrochloric acid and operating pressure was analyzed. The main aim is to study the kinetics of yttrium dissolution with hydrochloric acid in the temperature range from 20°C to 70°C at atmospheric pressure.

Experimental Work

Material

Ceramic materials remain from a knock-off of cast parts containing a high amount (up to 15 %) of yttrium oxide from the upper layers of shells. The elements such as titanium, aluminium, and iron are regarded as impurities in these waste materials.



Figure 2 – The waste ceramic dust
Рис. 2 – Отходная керамическая пыль
Slika 2 – Odpadni keramički prah

The chemical composition of the waste ceramic dust studied in this work amounts to (in %): 1.34 Y; 0.56 Fe₂O₃, 0.5 TiO₂; 0.48 SiO₂; and 97.12 Al₂O₃. This fine dust fraction was approx. below 250 µm.

Experimental Procedure

Leaching tests were performed under a) atmospheric pressure in a glass reactor at 20°C, 45°C and 70°C and b) high pressure in an autoclave at 150°C (pressure about 5 x10⁵ Pa) using hydrochloric acid. The temperature was controlled within ± 1 °C by a temperature control system which controlled a water cooling system as well (see Figure 3).

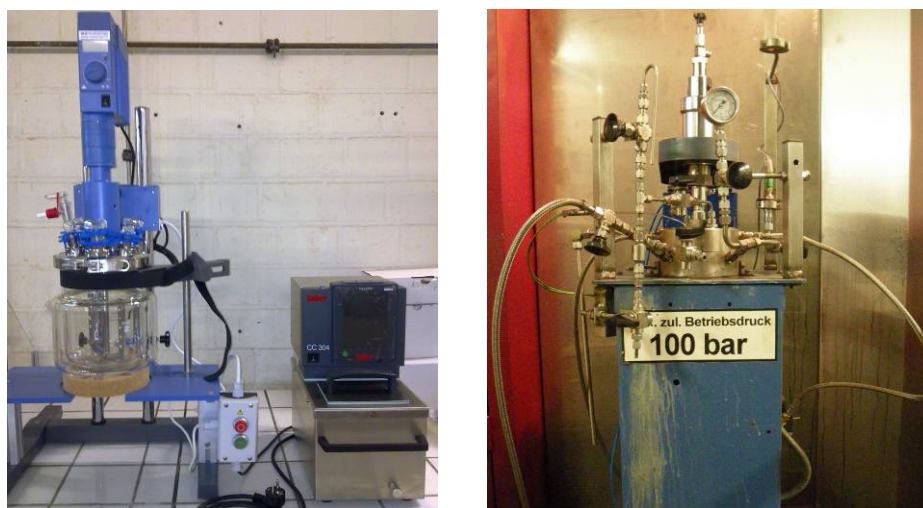


Figure 3 – a) a glass reactor b) an autoclave
Рис. 3 – а) стеклянный реактор б) автоклав
Slika 3 – a) stakleni reaktor b) autoklav

Agitation was provided by a motor-driven impeller. A certain amount of waste dust was mixed with a pre-calculated amount of deionised water. The slurry was then heated up to a predetermined temperature under continuous agitation. Upon temperature stabilisation, a certain amount of different concentration of hydrochloric acid was injected into the reactor under atmospheric and high pressure. Using the sampling system, 20 ml of liquid was periodically withdrawn through a dip tube and then rapidly cooled. After the end of the experiments, the solutions aliquots were filtered and analysed, aiming at Y, Fe, Al and Ti by inductively coupled plasma ICP spectrophotometry and X-ray fluoroscency.

Results

The influence of different experimental parameters such as the leaching time, the leaching temperature and the concentration of hydrochloric acid on yttrium dissolution were investigated. The obtained results between 20°C and 150°C were shown in Figure 4 and Figure 5:

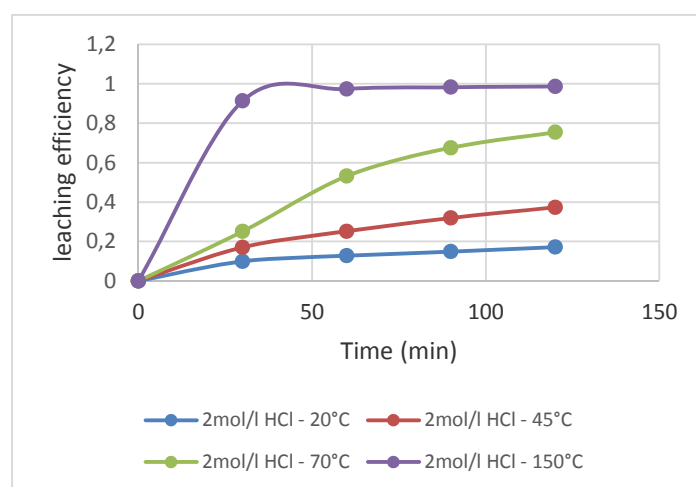


Figure 4 – Influence of temperature and time on the yttrium dissolution
 Рус. 4 – Влияние температуры и времени на процесс растворение иттрия
 Slika 4 –Uticaj temperature i vremena na rastvaranje itrijuma

The minimum efficiency of yttrium dissolution is found at room temperature. An increase of leaching time to 120 min and temperature from 20°C to 150°C using 2M HCl solution leads to an increased leaching efficiency of yttrium up to 98.6 %. At 70°C and under atmospheric pressure, the leaching efficiency amounts to about 80 % in 120 min. An increase of the concentration of hydrochloric acid from 0.5 mol/L to 2.0 mol/L leads to an increased yttrium dissolution efficiency.

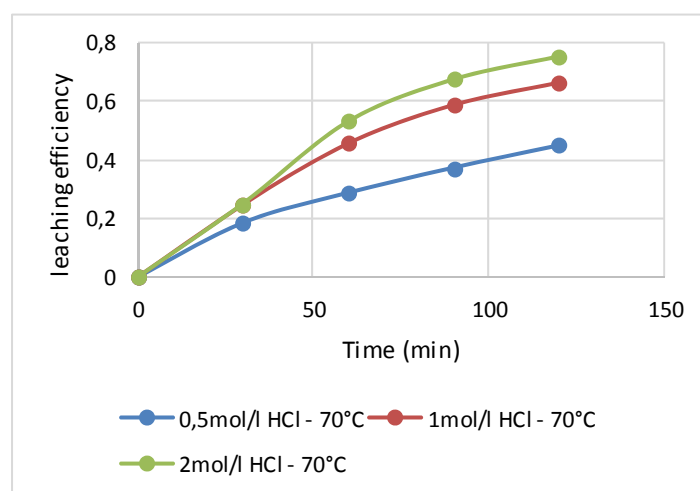


Figure 5 – Influence of the concentration of hydrochloric acid on yttrium dissolution
 Рус. 5 – Влияние концентрации соляной кислоты на процесс растворения иттрия
 Slika 5 – Uticaj koncentracije hlorovodonične kiseline na rastvaranje itrijuma

Under the same conditions, the dissolution of iron with hydrochloric acid is very high at 70°C for all used concentrations.

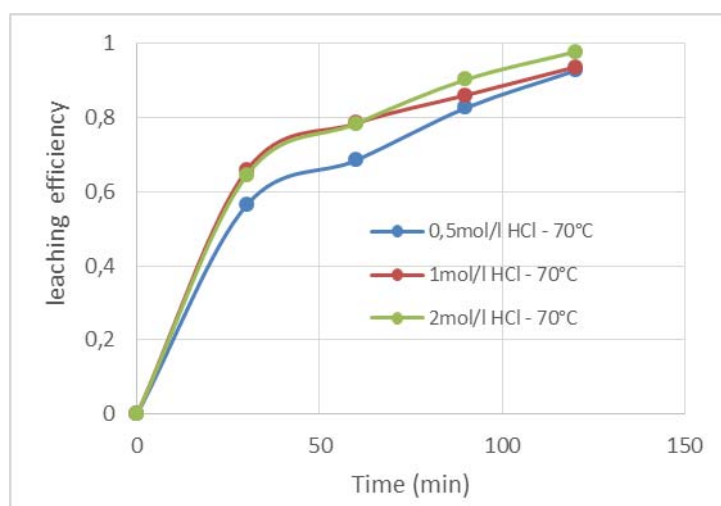


Figure 6 – Influence of the concentration of hydrochloric acid on iron dissolution at 70°C
 Рус. 6 – Влияние концентрации соляной кислоты на процесс растворения железа при температуре выше 70°C
 Slika 6 – Uticaj koncentracije hlorovodonične kiseline na rastvaranje gvožđa na temperaturi od 70°C

We assumed that the chemical reaction at the phase boundary solid-liquid is the limiting step. The solid phase is yttrium oxide on aluminium oxide as a matrix. Therefore, a kinetic analysis of the dissolution process of waste dust was performed using the next mathematical model.

$$1 - (1-X)^{1/3} = k t \quad (1)$$

Where:

X – Leaching efficiency of yttrium dissolution (between 0 and 1)

k – Rate constant, min^{-1}

t – Leaching time (min).

A graphical representation of the experimental data of the leaching processes in the coordinate system which corresponds to the chemical rate control for spherical particles is shown in Figure 7:

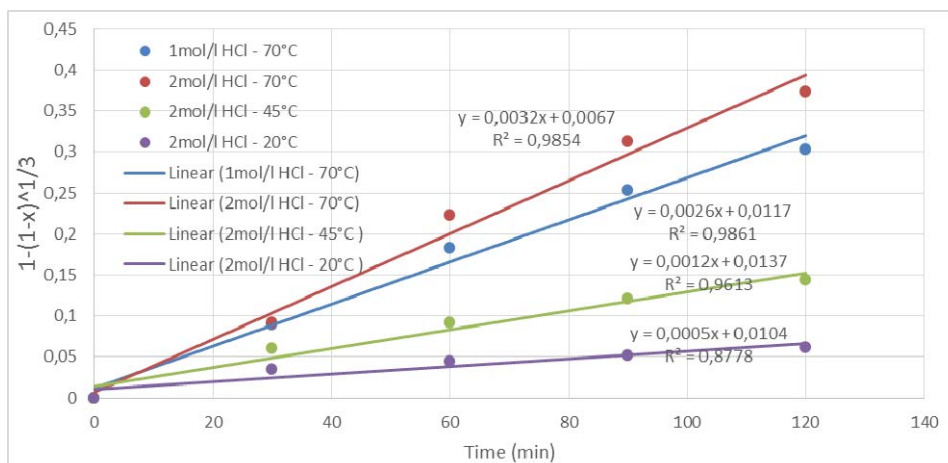
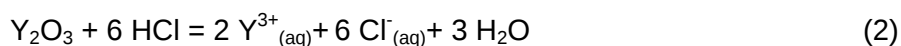


Figure 7 – Testing of kinetic model for dissolution of yttrium
Рис. 7 – Тест кинетической модели растворения иттрия
Slika 7 – Ispitivanje kinetičkog modela rastvaranja itrijuma

Good linearization exists for all three investigated temperatures. In all three cases, at 20°C, 45°C and 70°C, the straight lines begin from the origin of the coordinate system. The slopes of these lines correspond to the rate constants of the corresponding reactions of yttrium dissolution in hydrochloric acid (Eq. 2).



The reaction rate constants for yttrium dissolution at different temperatures were graphically determined:

$$k_{70^{\circ}\text{C}} = \tan(0,0032) = 5,585 \cdot 10^{-5} \text{ min}^{-1}$$

$$k_{45^{\circ}\text{C}} = \tan(0,0012) = 2,0944 \cdot 10^{-5} \text{ min}^{-1}$$

$$k_{20^{\circ}\text{C}} = \tan(0,0005) = 8,7266 \cdot 10^{-6} \text{ min}^{-1}$$

The statement on the rate-limiting step was further investigated using the Arrhenius plot.

$$k = k_0 \cdot \exp(-E_A/RT) \quad (3)$$

If $\ln k$ over $1000/T$ is applied, the apparent activation energy E_A can be determined (as shown in Figure 8).

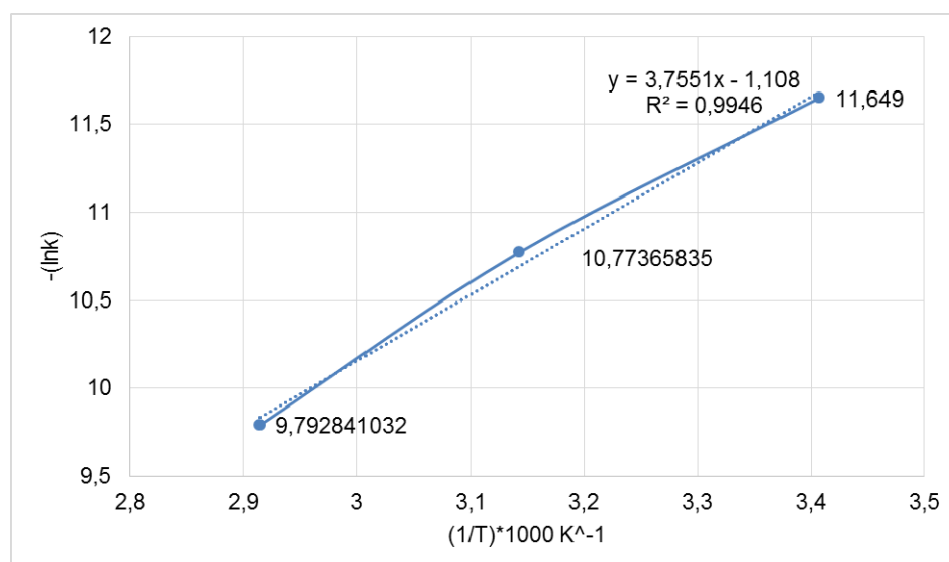


Figure 8 – Arrhenius plot for the dissolution of yttrium with hydrochloric acid between 20°C and 70°C

Рис. 8 – График уравнения Аррениуса для растворения иттрия в соляной кислоте при температуре 20 °С - 70 °С

Slika 8 – Grafički prikaz Arenijusove jednačine rastvaranja itrijuma u hlorovodoničnoj kiselini na temperaturi između 20°C i 70°C

The calculated activation energy amounts to 31.2 kJ/mol. The dissolution of yttrium as yttrium oxide with hydrochloric acid from aluminum oxide as matrix depends on a reaction at the solid-liquid phase.

Conclusions

The present study summarized the influence of different reaction parameters such as leaching temperature, time and concentration of hydrochloric acid on yttrium dissolution from waste ceramic dust. An increase of dissolution time and temperature increases yttrium dissolution. The maximal yttrium dissolution efficiency was obtained using 2M HCl at atmospheric pressure at 70°C (about 80%). An increase of pressure from atmospheric pressure to 0.5 MPA at 150°C leads to the maximum dissolution of yttrium (about 98.6 %). A kinetic analysis revealed that the dissolution of yttrium with hydrochloric acid can be described using a kinetic model based on the reaction at the solid-liquid phase as a limiting step. The calculated activation energy E_A between 20°C and 70°C amounts to 31.2 kJ/mol. The selectivity of the dissolution process regarding the presence of iron will be studied in our future work. Precipitation and solvent extraction will be used in particular for a production of a cleaned solution based on yttrium chloride.

References

- Amaral, J., & Morais, C. 2010. Thorium and uranium extraction from rare earth elements in monazite sulfuric acid liquor through solvent extraction. *Minerals Engineering*, 23, pp.498-503.
- Binnemans, K., Jones, P.T., Blanpain, B., van Gerven, T., Yang, Y., Walton, A., & Buchert, M. 2013. First comprehensive review paper on rare-earth recycling: Recycling of rare earths: A critical review. *Journal of Cleaner Production*, 51, pp.1-22.
- Ibrahim, T., & El-Hussaini, 2007. Production of anydrite-gypsum and recovery of rare earths as a by-product. *Hydrometallurgy*, 87, pp.11-17.
- Kim, E., & Osseo-Asare, K. 2012. Aqueous stability of thorium and rare earth elements in monazite hydrometallurgy. *Hydrometallurgy*, 113-114, pp.67-78.
- Kuzmin, V., & et al., 2012. Combined approaches for comprehensive processing of rare earth metal ores. *Hydrometallurgy*, 129-130, pp.1-6.
- Mackowski, S.J., & et al., 2009. *Recovery of Rare earth elements, US Patent 0272230 A1*.
- Poscher, Luidold, A., Kaindl, S., & Antrekowitsch, M. 2013. Recycling of rare earth from spent phosphors. . In: Proceeding of EMC Conference. , pp.1217-1222
- Stopić, S., & Friedrich, B. 2011. Pressure hydrometallurgy: A new chance to non-polluting processes. *Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier*, 59(3), pp.29-44.
- Sung-Don, K., Jin-Young, L., Chul-Joo, K., Ho-Sung, Y., & Joon-Soo, K. 2010. NaOH Decomposition and Hydrochloric acid leaching by hot digestion method. *Journal of the Korean Institute of Resources Recycling*, 19(6), pp.70-76.

КИНЕТИКА РАСТВОРЕНИЯ ИТТРИЯ ИЗ ОТХОДНОЙ
КЕРАМИЧЕСКОЙ ПЫЛИ

Сречко Р. Стопич, Бернд Г. Фриедрих
Технический университет города Ахен, Институт металлургических
процессов и рециклирования металлов, Германия

ОБЛАСТЬ: химические технологии
ВИД СТАТЬИ: оригинальная научная статья
ЯЗЫК СТАТЬИ: английский

Резюме:

Иттрий светло-серебристый редкоземельный металл побочной группы, обладающий аналогичными лантатдоиду химическими свойствами.

Иттрий и оксид иттрия используются в производстве люминесцентных ламп, электродов, электронных фильтров, сверхпроводников и в качестве укрепляющих добавок к различным материалам.

Большая часть иттрия извлекается из его минералов, таких как монациты $[(Ce, La, Th, Nd, Y)PO_4]$ и ксенотимы YPO_4 .

Наличие радиоактивных элементов тория и урана, а также иттрия усложняет процесс получения оксида иттрия из руд и концентратов.

Так как стандарты по охране окружающей среды с каждым днем повышаются, извлечение данных элементов становится рискованным.

Поэтому рециклирование оксида иттрия из вторичных ресурсов, таких как: красный шлам, покрытие для керамики и использованные материалы в производстве люминесцентных ламп имеет большое значение.

Основной целью данной работы является изучение кинетики растворения иттрия с соляной кислотой из отходной керамической пыли.

Ключевые слова: *иттрий, рециклирование, гидрометаллургия, керамика.*

KINETIKA RASTVARANJA ITRIJUMA IZ OTPADNOG
KERAMIČKOG PRAHA

Srećko R. Stopić, Bernd G. Friedrich
Tehnički Univerzitet u Ahenu, Institut za procesnu metalurgiju
i recikliranje metala, Nemačka

OBLAST: hemijske tehnologije
VRSTA ČLANKA: originalni naučni članak
JEZIK ČLANKA: engleski

Sažetak:

Itrijum je srebrnasti prelazni metal sa hemijskim svojstvima sličnim lantanoidima. Zbog ovih sličnosti itrijum pripada elementima retkih zemalja. Itrijum i itrijumoksid koriste se u fluorescentnim lampama, u proizvodnji elektroda, u elektronskim filterima, superprovodnicima i kao dodatak u različitim materijalima radi poboljšanja njihove stabilnosti. Veliki deo itrijuma dobijen je iz njegovih minerala kao što su monazit [(Ce,La,Th,Nd,Y)PO₄] i ksenotim YPO₄. Prisustvo radioaktivnih elemenata torijuma i urana, zajedno sa itrijumom, predstavlja teškoću u dobijanju itrijumoksida iz ruda i koncentrata. Regulisanje zaštite životne sredine je sve strože i povećava rizik u njihovom snabdevanju. Zbog svega toga recikliranje itrijumoksida iz sekundarnih izvora, kao što su crveni mulj, prevlake u keramici i istrošeni materijali u fluorescentnim lampama, ima veliki značaj. Osnovni cilj ovog rada jeste da prouči kinetiku rastvaranja itrijuma sa hlorovodoničnom kiselinom iz otpadnog praha keramičkih materijala.

Ključne reči: *itrijum, recikliranje, hidrometalurgija, keramika.*

Datum prijema članka / Дата получения работы / Paper received on: 05. 07. 2015.
 Datum dostavljanja ispravki rukopisa / Дата получения исправленной версии работы / Manuscript corrections submitted on: 20. 10. 2015.
 Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje / Дата окончательного согласования работы Paper accepted for publishing on: 22. 10. 2015.

© 2016 Autori. Objavio Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (www.vtg.mod.gov.rs, втр.мо.унр.срб). Ovo je članak otvorenog pristupa i distribuirao se u skladu sa Creative Commons licencom (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2016 Автор. Опубликовано в "Военно-технический вестник / Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier" (www.vtg.mod.gov.rs, втр.мо.унр.срб). Данная статья в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией "Creative Commons" (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2016 The Authors. Published by Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (www.vtg.mod.gov.rs, втр.мо.унр.срб). This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).



PRESENTATION OF THE RESULTS FOR DEUTERIUM RETENTION AND THERMAL RELEASE IN A NEW TYPE OF LOW ACTIVATION FERRITIC- -MARTENSITIC STEEL EUROFER

Sanja Lj. Korica

University Union – Nikola Tesla,
Faculty for Ecology and Environmental Protection,
Belgrade, Republic of Serbia,
e-mail: koricasanja@gmail.com,
ORCID iD:  <http://orcid.org/0000-0002-7915-9430>

DOI: 10.5937/vojtehg64-9327

FIELD: Materials
ARTICLE TYPE: Original Scientific Paper
ARTICLE LANGUAGE: English

Abstract:

This work presents the results of the investigation into deuterium retention and thermal release in low activation ferritic-martensitic steel EUROFER and its main components, Fe and Cr, using ion implantation, nuclear reaction depth profiling and the thermal desorption spectrometry technique. The samples were exposed to deuterium ECR plasma of $6.5 \times 10^{24} \text{ Dm}^{-2}$ fluence. Our NRA results show that, at 300 K, most of deuterium is trapped in the near-surface region. A part of the implanted deuterium diffuses into the bulk and is trapped by defects beyond the implantation range. The results of the TDS measurement of the Cr sample confirm the formation of an ordered Cr-hydride phase.

Key words: nuclear reactor materials, radiation effects, diffusion, nuclear resonances.

ACKNOWLEDGMENT: Acknowledged is the support to this work provided by the DAAD Organization and the Ministry of Education, Science and Technological Development of Serbia through Project in Physics and Chemistry with Ion Beams, no. III45006.

Introduction

Reduced activation ferritic-martensitic (RAFM) steels are presently the leading candidate materials for the first wall and breeding blanket structural application for ITER and future power plants. This class of steels has been selected mainly because of their improved radiation resistance and the potential of reduced activation. These materials have been developed by replacing alloying elements like Mo, Nb and Ni in the commercial martensitic steels by other elements which exhibit faster decay of induced radioactivity such as Ta, W and V (Kohyama, 1996, pp.138-147). They also show excellent mechanical and thermo-physical properties (Lindau, 2005, pp.989-996) and swelling resistance (Baluc, 2007, pp.33-41).

EUROFER'97 is the RAFM steel developed for the requirements of the European fusion technology program (Gasparoto, 2003, pp.129-137). Its chemical composition has been designed to achieve good activation properties and irradiation resistance (Van der Schaaf, 2003, pp.197-203), (Tavassoli, 2004, pp.257-262). It is expected that Fe and Cr, as its main components, will have the most impact on its overall properties. As a structural material for the future fusion application, EUROFER will be exposed to intense fluxes of energetic hydrogen isotope ions and neutrals as products of nuclear reactions (Yao, 2005, pp.1285-1291). Retention and further transport of the hydrogen isotopes will have implications on material stability, environmental safety and recycling to the plasma. Hydrogen transport and trapping in EUROFER have been recently studied by means of the gas evolution permeation technique (Esteban, 2007, pp.473-477) assuming that martensitic steel is close to a bcc structure where H occupies only tetrahedral interstitial positions (Seeger, 1976, pp.137-138).

An experiment has shown that the H transport is limited to diffusive phenomena rather than surface effects, though a complete lack of surface effects cannot be proven. Activation energy (E_a), found to be close to 59 kJ/mol, corresponds to high angle grain boundaries (Esteban, 2000, pp.34-41). This indicates that the governing cause of the H trapping in EUROFER may be grain boundaries and/or fine martensitic laths, characteristic for this type of steel.

This paper presents a study on the retention and thermal release of deuterium in Fe, Cr and EUROFER irradiated with D ions by means of ion beam analysis techniques and thermal desorption spectroscopy (TDS).

Experimental details

Polycrystalline Fe and Cr foils of quoted purity 99.99%, 0.5 mm in thickness delivered by Goodfellow and EUROFER steel foil, 1 mm in thickness, were used in this work. Note that the main alloying elements of the EUROFER are Fe and 9.2 at.% Cr. Rectangular-shape samples 12×15mm in size were cut from the foils and then mechanically polished prior the measurements.

The samples were exposed to deuterium plasma in an electron-cyclotron-resonance source PlaQ in IPP, Garching (Manhard, 2011, pp.015-010). Thus source is equipped with a biased sample holder and is well suited for the implantation of deuterium ions. A PlaQ experiment consists of a stainless steel chamber where plasma is confined in a cylindrical steel mesh cage with a height of 15 cm and a diameter of 14 cm. A plasma beam consisting mainly of D_3^+ ions reaches a sample holder through a circular aperture of the steel plate placed at the bottom of the cage. The whole sample is homogeneously irradiated. A typical achievable deuteron flux is in the range 10^{19} to 10^{20} D m⁻²s⁻¹. Achievable energies range from several keV up to 200keV per deuteron.

The surface morphology of the samples subjected to the D plasma exposures was examined using scanning electron microscopy.

Deuterium depth profiles were determined using the nuclear reaction analysis technique (NRA) at a Tandem Accelerator in IPP, Garching. The analysis was carried out by directing a ^3He beam normally on the samples and measuring the proton yield from the induced nuclear reaction $D(^3\text{He},p)^4\text{He}$ as a function of an incident ^3He energy beam. Series of seven different ^3He energies were used in the range from 0.5 to 4.5 MeV, following the reaction cross section which was obtained from the literature (Alimov, 2005, pp.169-175) and which exhibits a maximum at around 0.65 MeV. The computer program NRADC was used for the analysis of the data (Schmid, 2012, pp.64-71). Here, a deuterium concentration profile was extracted from the proton yield using an iterative deconvolution procedure.

Protons from the nuclear reaction $D(^3\text{He},p)^4\text{He}$ were counted with a Si surface barrier detector which subtended a solid angle of 0.106 Sr at 150° from the incident-beam direction. This detector was covered with 0.4 mm of Al foil to range out unwanted charged particles. The detector acceptance angle was calibrated by Rutherford backscattering from a C film on a Be substrate, with the intervening Al foil removed.

Thermal desorption spectroscopy (TDS) measurements were performed with a custom built set-up in INN Vinča, Belgrade, consisting of a quartz tube placed inside the furnace. The samples were outgassed at 293 K under 1.9×10^{-8} Pa and subsequently subjected to a linear

heating rate of 20 K/min to 1273 K under high vacuum. The partial pressures of H₂, H₂O and D₂ released were monitored with a quadrupole mass spectrometer (Extorr 3000).

Results and Discussion

D retention in Fe

In the first set of experiments, two Fe samples were used: the first Fe sample as prepared, i.e., mechanically polished, and the second one additionally annealed at 1120 K for 1 h in vacuum under $\sim 10^{-5}$ Pa to enlarge grains and remove the cold-work damage. The SEM micrographs of the samples show that in the case of the sample without previous heat treatment, no pronounced surface structures were observed. On the other hand, the microstructure of the annealed sample consists of anisotropically distributed grains of white borders. The mean grain size observed by SEM was 50-100 μm .

After that, both samples were simultaneously exposed to deuterium plasma in PLAQ at room temperature. The energy of deuterium ions was < 5 keV/D and the irradiation flux was $5.6 \times 10^{19} \text{ Dm}^2\text{s}^{-1}$. The total ion fluence was $4 \times 10^{24} \text{ Dm}^{-2}$.

The calculations performed by the SRIM code (Ziegler, 2004, pp.1027-1036) indicate that this energy corresponds to the approximate deuterium penetration depth (projected range) of 400 nm. A displacement damage (damage distribution profile) peak is located at 50 nm from the surface. The projected range of D is increasing monotonically with increasing ion energy. Along its trajectory, ion is producing damage which can serve as trapping sites for deuterium. In most ion irradiations in Fe, the damage region is usually within a few micrometers of the irradiated surface (Horton, 1981, pp.1343-1347). The defect structures significantly depend on the distance from the irradiated surface. However, a comparison to binding energies of deuterium to various traps in iron and ferritic-martensitic steels indicate that probably in both cases vacancies are the major traps (Forcey, 1990, pp. 357-363), (Pressouyre, 1979, pp.1571-1573).

Deuterium is highly mobile in Fe with a diffusion activation energy of ~ 0.05 eV and a room-temperature diffusivity of $\sim 10^{-9} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$.

Hydrogen diffusivity in iron and martensitic MANET II shows a pronounced dependence on gas pressure and a deviation from Arrhenius type temperature dependence at temperatures below 300°C (Wedig, 1997, pp.138-146). For the case of hydrogen transport and trapping in austenitic stainless steels, Langley (Langley, 1984, pp.622-628)

proposed a two-region diffusion model where the solid is considered to consist of two components, a surface layer and a bulk material. In this model, the surface layer is characterized by a smaller diffusion coefficient than the bulk. This was confirmed by the measurements of Wilson and Baskes (Wilson, 1978, pp.291-297) on deuterium trapping in 316 stainless steels. Their desorption data showed that there are two dominant mechanisms: bulk migration of mobile deuterium atoms with ~ 0.6 eV migration energy and release from near surface traps with a net detrapping energy of ~ 0.9 eV. Here, the diffusivity was determined to be $D_0 = 0.12 \text{ cm}^2/\text{s}$ and $E_{\text{activ}} = 0.61$ eV.

After the plasma exposure, the concentration of D in each sample was determined by the nuclear reaction analysis (NRA). The NRA results are shown in Figure 1.

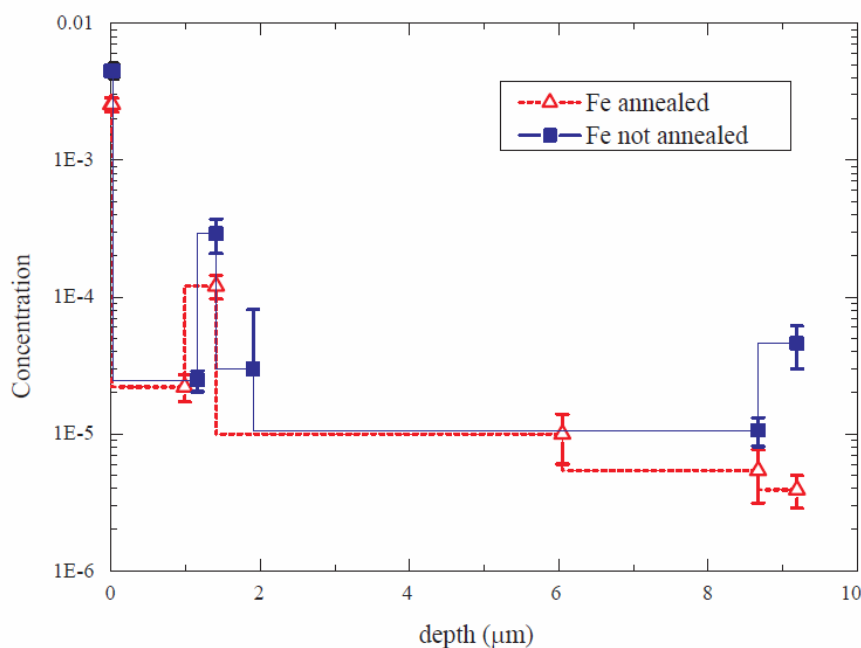


Figure 1 – Deuterium depth profile for the Fe samples exposed to deuterium plasma at 300 K to a fluence of $F = 4 \times 10^{24} \text{ Dm}^{-2}$ (-) not annealed and (----) annealed in vacuum at 1120 K for 1 h

Slika 1 – Dubinski profil deuterijuma za uzorke Fe ozračene plazmom deuterijuma na 300 K i pri fluksu od $F = 4 \times 10^{24} \text{ Dm}^{-2}$ (-) nezagrevani i (----) zagrevani u vakuumu na 1120 K u trajanju od 1 h

Рис. 1 – глубинный профиль дейтерия образца Fe, облучённый дейтериевой плазмой на 300K и при флюенсе $F = 4 \times 10^{24} \text{ Dm}^{-2}$ (-) не разогретый и (----) разогретый в вакууме на 1120 K в течение 1 часа

The depth profiles in the both samples are characterized by a very high concentration of deuterium in the near surface region, probably due to the trapping at the plasma irradiation induced defects. At depths above 1 μm , the concentration exponentially decreases due to the D diffusion into the bulk. The only unusual feature is the increase of the concentration in the bulk which appears for both samples at around 1 μm and will be discussed later in the text.

D retention in Fe, Cr and EUROFER

In the second set of measurements, five different samples were used:

- two Fe samples (one unprocessed and another additionally coated with a 130 nm thick Au layer on one side)
- two EUROFER samples (one unprocessed and another additionally coated with a 130 nm thick Au layer on one side)
- one Cr sample, as prepared

The reason for using Au coating is that a hydrogen barrier is planned to be placed between the plasma facing material and EUROFER which is planned to be used as the first wall in future fusion reactors. This barrier will prevent tritium transport and retention through the first wall. The study on alumina (Levchuk, 2004, pp.103-106) has shown that this material is a promising candidate for this purpose. It showed a significant decrease of the permeation flux compared to the bare material ($\sim 10^3$ factor) where surface effects seem to play an important role. With this experiment, we wanted to test Au as a potential diffusion barrier for D in a combination with EUROFER as a substrate. Similarly to the mentioned study, a very thin Au coating was used to prevent the neutron induced activation from Au.

All samples were annealed at 873 K for 3 h in vacuum under $\sim 10^{-5}$ Pa to enlarge grains and remove the cold-work damage. SEM micrographs of the EUROFER and Cr samples show that Fe samples look basically the same as in the first measurement (the formation of a grain structure is observed after the annealing procedure). In the case of the EUROFER sample, the structure of the alloy did not change significantly after the heating procedure. In the case of the Cr sample, a network crack structure was observed before the annealing procedure. The microstructure of the annealed sample consists of additional anisotropically distributed grains. The mean grain size observed by SEM was 1 μm .

After that, all samples were exposed simultaneously to deuterium plasma in PLAQ at room temperature. The energy of deuterium ions was 38 keV/D and the irradiation flux was $9 \times 10^{19} \text{ D m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. The total ion fluence was $6 \times 10^{24} \text{ D m}^{-2}$.

The calculations performed by the SRIM code indicate that this energy corresponds to the approximate deuterium penetration depth of 500 nm in Fe. A displacement damage peak is located at 300 nm from the surface. Deuterium trapping in stainless steel occurs in radiation induced damage sites (e.g., vacancies, interstitial loops, etc.), in voids, grain boundaries and impurities (Wilson, 1981, pp.453-463). The previous measurements indicate that two dominant radiation damage traps exist with binding energies of ~ 0.1 and 0.3 eV (Bohdansky, 1980, pp.594-600).

After the plasma exposure in our experiment, the D concentration in each sample was determined by means of the nuclear reaction analysis (NRA). Figure 2 gives the D depth profile in the Fe samples. The depth profile is similar as in the first experiment except that an unusual step-structure appears at a greater depth of $\sim 4\mu\text{m}$. This indicates the structure is not constant and is related to the energy of the injected ions.

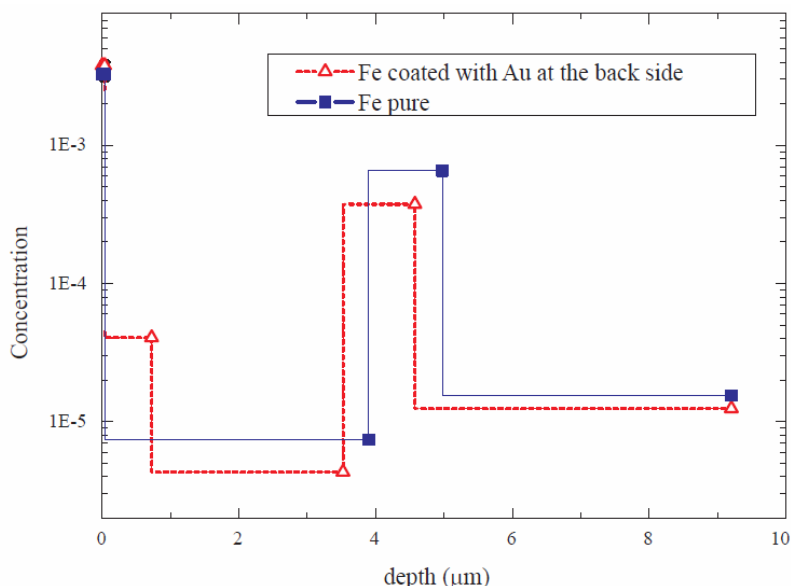


Figure 2 – Deuterium depth profile for the Fe samples annealed in vacuum at 873 K for 1h and then exposed to deuterium plasma at 300 K to a fluence of $F = 6 \times 10^{24} \text{ Dm}^{-2}$

Slika 2 – Dubinski profil deuterijuma za uzorke Fe zagrevane u vakuumu na 873K u trajanju od 1h, a zatim ozračene plazmom deuterijuma na 300 K pri fluksu $F = 6 \times 10^{24} \text{ Dm}^{-2}$

Рис. 2 – глубинный профиль дейтерия образца Fe, разогретый в вакууме на 873 K в течение 1 часа, а затем облученный дейтериевой плазмой на 300K при флюенсе $F = 6 \times 10^{24} \text{ Dm}^{-2}$

Figure 3 and Figure 4 give the D depth profile in the EUROFER and Cr samples. The depth profile of EUROFER shows a similar structure as in the case of the pure Fe samples except that the concentration is about

two times higher than in Fe. The peculiar peak-like structure in the concentration profile of EUROFER probably comes from Fe as the main constituent of this steel. Our measurements are supported by the results of (Spitsyn, 2014, pp.561-567) who have performed a similar kind of measurements on the RUSFER (a Russian version of EUROFER). They have observed similar structures in the depth profiles measuring them for different temperature and energy series. They also showed that, by increasing the temperature, the concentration decreases and already at 200° is below the sensitivity of the detector.

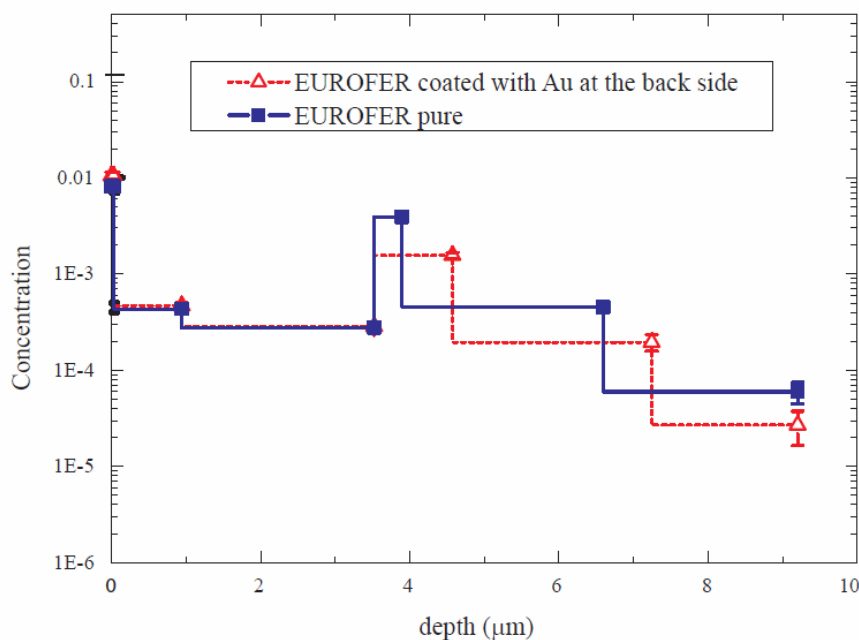


Figure 3 – Deuterium depth profile for the EUROFER samples annealed in vacuum at 873 K for 1h and then exposed to deuterium plasma at RT to a fluence of $F = 6 \times 10^{24} \text{ Dm}^{-2}$ (-) not coated with Au and (---) coated with a 130 nm thick Au layer

Slika 3 – Dubinski profil deuterijuma za uzorke EUROFER-a zagrevane u vakuumu na 873K u trajanju od 1h, a zatim ozračene plazmom deuterijuma na sobnoj temperaturi i fluksu $F = 6 \times 10^{24} \text{ Dm}^{-2}$ (-) neobloženi slojem Au i (---)obloženi slojem Au debljine 130 nm
 Рис. 3 – глубинный профиль дейтерия образцов EUROFER, разогретых в вакууме на 873 К в течение 1 часа, а затем облученных дейтериевой плазмой на комнатной температуре при флюенсе $F = 6 \times 10^{24} \text{ Dm}^{-2}$ (-) необлицованные Au i (---)облицованные Au coated толщиной 130 nm

The D concentration profile in the Cr sample is characterized by a very high concentration peak in the near surface region (almost 10 magnitudes of order higher than in the pure Fe samples!) and the further

exponential decay of the concentration in the bulk. This suggests that in the case of Cr there is probably the formation of the chromium hydride on the surface of the sample.

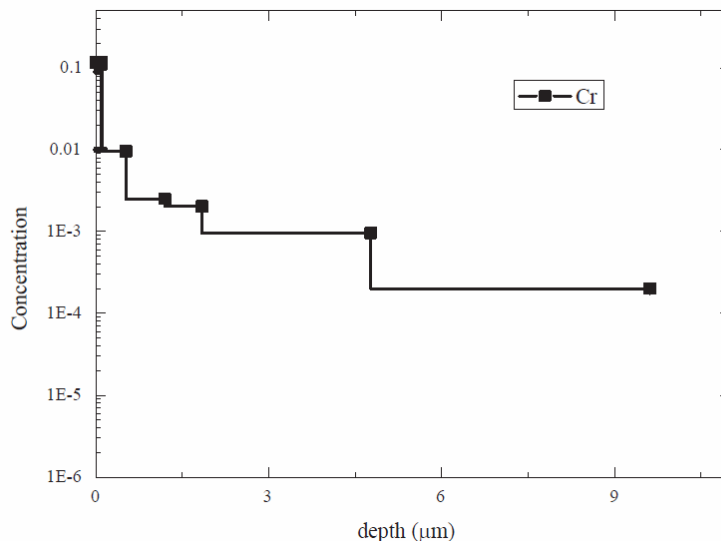


Figure 4 – Deuterium depth profile for the Cr samples annealed in vacuum at 873 K for 1h and then exposed to deuterium plasma at 300 K to a fluence of $F = 6 \times 10^{24} \text{ Dm}^{-2}$

Slika 4 – Dubinski profil deuterijuma za uzorke Cr zagrevane u vakuumu na 873K u trajanju od 1h, a zatim ozračene plazmom deuterijuma na 300 K pri flukсу $F = 6 \times 10^{24} \text{ Dm}^{-2}$

Рис. 4 – Глубинный профиль дейтерия образца Cr, разогретый в вакууме на 873 K в течение 1 часа, а затем облученный дейтериевой плазмой на 300K при флюенсе $F = 6 \times 10^{24} \text{ Dm}^{-2}$

Formation of Cr-hydride

Metallic chromium metal normally has a body-centered cubic crystal structure. In the interaction with hydrogen, it forms chromium-hydride which appears in two phases: face centred cubic (fcc) CrH_2 , and hexagonal closed packed (hcp) CrH , both having a high hydrogen concentration (Baranowski, 1978, pp.157-200). Both these hydrides were originally formed by the cathodic electrodeposition of Cr (Snively, 1947, pp.537-577), but one of them was later synthesized by a direct reaction with high pressure H_2 gas as well (Baranowski, 1972, pp.525-527). The fcc hydride prepared this way was reported to be unstable whereas the hcp hydride could be stored indefinitely under ambient conditions. In addition, recent X-ray diffraction measurements with the use of

synchrotron radiation (Fukai, 2002, pp.1079-1084) gave evidence of superabundant vacancy (SAV) formation, as observed in several other metal-hydrogen alloys.

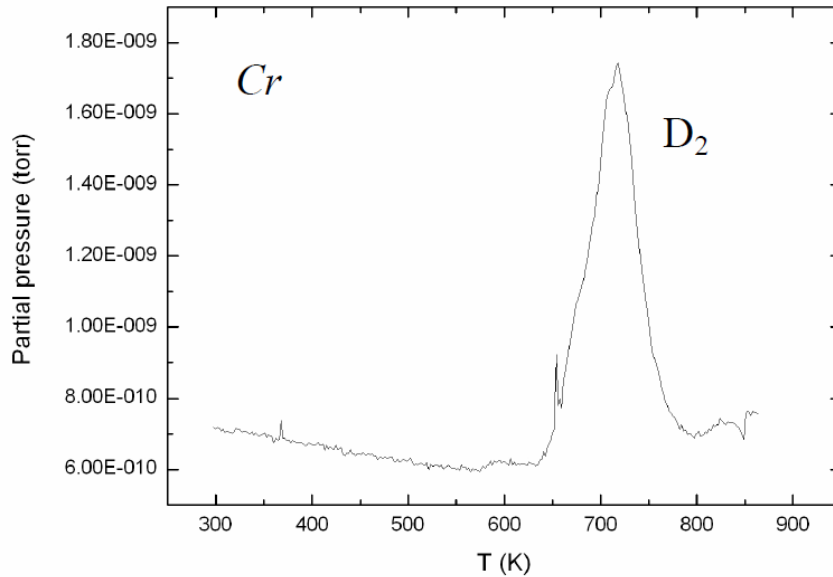


Figure 5 – Thermal desorption spectra of deuterium from Cr exposed to deuterium plasma at 300 K with a fluence of $F = 6 \times 10^{24} \text{ Dm}^{-2}$. The temperature ramp was 0.3 K/s.

Slika 5 – Spektar termalne desorpcije deuterijuma iz uzorka Cr izloženog plazmi deuterijuma na 300 K i pri flukсу $F = 6 \times 10^{24} \text{ Dm}^{-2}$. Temperaturski koraci bili su 0.3 K/s.

Рис. 5 – Спектр термальной десорбции дейтерия образца Cr, облученного дейтериевой плазмой на 300 K при флюенсе $F = 6 \times 10^{24} \text{ Dm}^{-2}$. Температурный рост составлял 0,3 K/c.

We have performed TDS measurements of the Cr sample in order to reveal the presence of the hydride phase on the surface of the sample. The result of this measurement is shown in Figure 5. Deuterium desorption as HD, HDO and D₂O was not found to be significant to the total deuterium desorption. As it can be seen, deuterium release peak appears at 720 K. Using the Redhead formula (Redhead, 1962, pp.203-211) for first order kinetics, which assumes a linear change of sample temperature with time ($T=T_0+\beta t$):

$$E_{act} = RT_{max} \left[\ln \left(\frac{10^{13} T_{max}}{\beta} \right) - 3.64 \right] \quad (1)$$

one can estimate the activation energy of the trapping site. In equation (1), R is the universal gas constant, $T_{\max}$ temperature which corresponds to the desorption peak and β is the heating rate, which in our case is 20K/min. For our data, the formula gives the value of 2.3 eV. The 2.3 eV trap corresponds to D at the near-octahedral interstitial site, where it is believed to be associated with a vacancy. In addition, a less pronounced peak from H_2 appears at 610 K.

Proton spectra of the coated samples

In order to study the influence of the Au coated layer on the diffusion of D in the samples, we rotated the samples for 180° and recorded the proton spectra for the ^3He energy of 3.2 MeV.

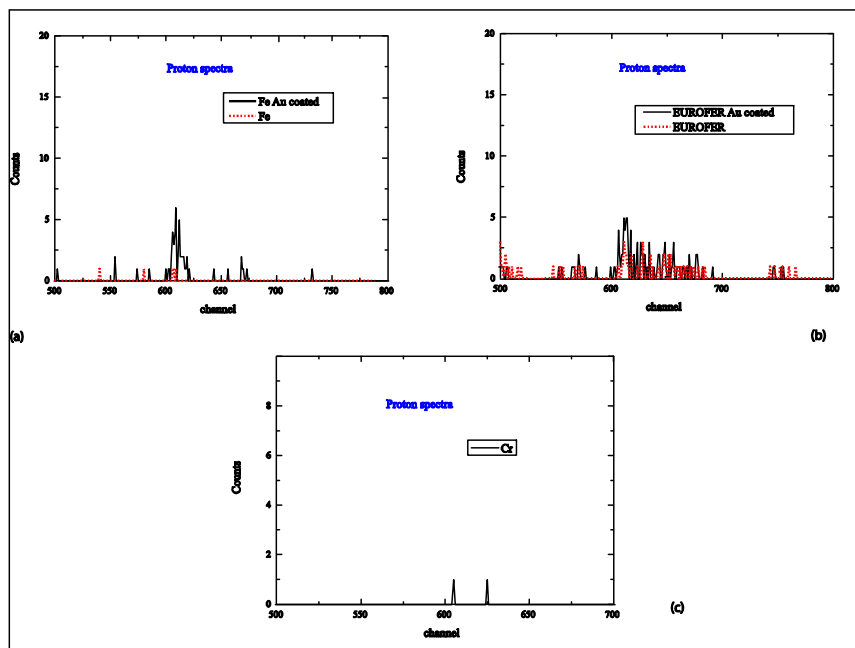


Figure 6 – Proton spectra from (a) the back side of the Fe samples, coated with a 130 nm thick Au layer (-) and pure (---), (b) the back side of the EUROFER samples, coated with a 130 nm thick Au layer (-) and pure (---), (c) back side of the Cr sample (-)

Slika 6 – Protonski spektar sa (a) zadnje strane uzorka Fe, obloženog slojem Au debljine 130 nm (-) i čistog Fe uzorka (---),

(b) zadnje strane uzorka EUROFER-a, obloženog slojem Au debljine 130 nm i čistog EUROFER uzorka(---), (c) sa zadnje strane uzorka Cr (-)

Рис. 6 – Спектр протонов с (а) задней стороны образца Fe, облицованного слоем Au толщиной 130nm (-) и чистого Fe образца (---), (b) с задней стороны образца EUROFER, облицованного слоем Au толщиной 130nm и чистого EUROFER образца (---), (c) с задней стороны образца Cr (-)

Figures 6(a) and 6(b) show the proton spectra for the pure and Au coated Fe and EUROFER samples. As it can be seen, the signal from the coated samples was considerably higher than in the case of the pure samples which indicated the diffusion and higher retention and also the reduction of losses on the back side. On the other hand, in the case of Cr (Figure 6(c)) there was almost no signal on the back side indicating the absence of diffusion.

Conclusions

This work deals with deuterium retention in EUROFER and its main components, Fe and Cr, to be used as structural materials for future fusion reactors. Two sets of measurements performed at different implantation energies of D showed the following results:

- * Retention in Cr is much higher than in Fe (due to the strong formation of hydride on the surface of the sample)
- * Retention in EUROFER is higher than in Fe for a factor of 2
- * A peculiar structure is observed in Fe and EUROFER at a depth of $\sim 4 \mu\text{m}$ (similar observation by Golubeva *et al.* for RUSFER)
- * Comparison of the Au coated samples and the pure samples showed a higher degree of diffusivity and the retention of D indicating the role of Au as a diffusion barrier.

References

- Alimov, V.Kh., Mayer, M., Roth, 2005, Differential cross-section of the $\text{D}(3\text{He},\text{p})4\text{He}$ nuclear reaction and depth profiling of deuterium up to large depths, *Nucl. Instr. Meth. B*, 234, pp.169-175.
- Baluc, N., Gelles, D.S., Jitsukawa, S., Kimura, A., Klueh, R.L., Odette, G.R., van der Schaaf, B., Yu, J., 2007, Status of reduced activation ferritic/martensitic steel development, *J. Nucl. Mater.*, 367-370, pp.33-41.
- Baranowski, B., Bojarski, K., 1972, Hydride formation at high hydrogen pressure, *Rocz. Chem.*, 46, pp.525-527.
- Baranowski, B., 1978, Hydrogen in Metals II, pp.157-200. Ed. By G. Alefeld and J. Völkl, Springer, Heidelberg, Germany.
- Bohdansky, J., Wilson, Esteban, G.A., Perujo, A., Douglas, K., Sedano, L.A., 2000, Tritium diffusive transport parameters and trapping effects in the reduced activating martensitic steel OPTIFER-IVb, *J. Nucl. Mater.* 281, pp.34-41.
- Esteban, G.A., Peña, A., Urra, I., Legarda F., Riccardi, B., J., 2007, Hydrogen transport and trapping in EUROFER'97, *J. Nucl. Mater.* 367-370, pp.473-477.
- Forcey, K.S., Iordanova, I., Ross, D.K., 1990, Investigation of structure dependence of diffusivity, solubility and permeability of hydrogen in hot rolled low carbon steels, *Mater. Sci. Technol.* 6, pp.357-363.
- Fukai, Y., & Mizutani, M. 2002. Hydrogen Absorbing Materials. Phase Diagram and Superabundant Vacancy Formation in Cr-H Alloys. *Mater. Trans.*, 43(5), pp.1079-1084. doi:10.2320/matertrans.43.1079.

- Gasparoto, M., Andreani, R., Boccaccini, L.V., Cardella, A., Federici, G., Giancarli, L., Le Marois, G., Maisonnier, D., Malang, S., Moeslang, A., Poiterin, Y., van der Schaaf, B., 2003, Survey of in-vessel candidate materials for fusion power plants – the European materials R&D programme, *Fusion Eng. Des.* 66-68, pp.129-137.
- Horton, L.L., Bentley, J., Jesser, W.A., 1981, *J. Nucl. Mater.* 104, pp.1343-1347.
- Kohyama, A., Hishinuma, A., Gelles, D.S., Klueh, R.L., Dietz, W., Ehrlich, K., 1996, The depth distribution of displacement damage in α -iron under "triple beam" ion irradiation, *J. Nucl. Mater.* 233-237, pp.138-147.
- Kohyama, A., Hishinuma, A., Gelles, D.S., Klueh, R.L., Dietz, W., Ehrlich, K., 1996, Low-activation ferritic and martensitic steels for fusion application, *J. Nucl. Mater.* 233-237, pp.138-147.
- Langley, R.A., 1984, Hydrogen trapping, diffusion and recombination in austenitic stainless steels, *J. Nucl. Mat.* 128-129, pp.622-628.
- Levchuk, D., Koch, F., Maier, H., Bolt, H., 2004, Deuterium permeation through Eurofer and α -alumina coated Eurofer, *J. Nucl. Mater.* 328, pp.103-106.
- Lindau, R., Möslang, A., Rieth, M., Klimiankou, M., Materna-Morris, E., Alamo, A., 2005, Present development status of EUROFER and ODS-EUROFER for application in blanket concepts, *Fusion Eng. Des.* 75-79 pp.989-996.
- Manhard, A., Schwarz-Selinger, T., Jacob, W., 2011, Quantification of the deuterium ion fluxes from a plasma source, *Plasma Sources Sci. Technol.* 20, pp.015-010.
- Pressouyre, G.M. 1979. A classification of hydrogen traps in steel. *Metallurgical Transactions A*, 10(10), pp.1571-1573. 10(10): 1571-1573. doi:10.1007/BF02812023.
- Redhead, P. A., 1962, Thermal desorption of gases, *Vacuum* 12, pp.203-211.
- Schmid, K., Von Toussaint, U., 2012, Statistically sound evaluation of trace element depth profiles by ion beam analysis, *Nucl. Instrum. Meth. B* 281, pp.64-71.
- Seeger, A., 1976, On the location of positive muons and solute hydrogen atoms in alpha iron, *Phys. Lett. A* 58, pp.137-138.
- Snively, C.A., 1947, Theory for the mechanism of chromium plating; A theory for the physical characteristics of chromium plate, *Trans. Electrochem. Soc.* 92, pp.537-577.
- Spitsyn, A.V., Golubeva, A.V., Bobyr, N.P., Khripunov, B.I., Cherkez, D.I., Petrov, V.B., 2014, Retention of deuterium in damaged low-activation steel RUSFER(EK-181) after gas and plasma exposure, *J. Nucl. Mat.* 455, pp.561-567.
- Tavassoli, A.-A.F., Alamo, A., Bedel, L., Forest, L., Gentzbittel, J.-M., Rensman J.-W., 2004, Materials design data for reduced activation martensitic steel type EUROFER, *J. Nucl. Mat.* 329-333, pp.257-262.
- Van der Schaaf, B., Tavassoli, F., Fazio, C., Rigal, E., Diegele, E., Lindau, R., LeMarois, G., 2003, The development of EUROFER reduced activation steel, *Fusion Eng. Des.* 69, pp.197-203.
- Wedig, F., Jung, P., 1997, Effects of irradiation and implementation on permeation and diffusion of hydrogen isotopes in iron and martensitic stainless steel, *J. Nucl. Mat.* 245, pp.138-146.
- Wilson, K.L., Baskes, M.I., 1978, Deuterium trapping in irradiated 316 stainless steel, *J. Nucl. Mat.* 76-77, pp.291-297.
- Wilson, K.L., 1981, Hydrogen recycling properties of stainless steels, *J. Nucl. Mater.* 103, pp.453-463.
- Yao, Z., Liu, C., Jung, P., 2005, Diffusion and permeation of deuterium in EUROFER97: Effect of Irradiation and of implanted helium, *Fusion Sci. Technol.* 48, pp.1285-1291.
- Ziegler, J.F., 2004, 2004, SRIM 2003, *Nucl. Instr. Meth. B* 219-220, pp.1027-1036.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО УДЕРЖАНИЮ ДЕЙТЕРИЯ И
ТЕРМИЧЕСКОЙ ДЕСОРБЦИИ В УСЛОВИЯХ НИЗКОЙ
АКТИВАЦИИ ФЕРРИТНО-МАРТЕНСИТНОЙ СТАЛИ EUROFER

Саня Л. Корица

Университет Унион – Никола Тесла, Факультет экологии и охраны
окружающей среды, Белград, Республика Сербия

ОБЛАСТЬ: материалы

ВИД СТАТЬИ: оригинальная научная статья

ЯЗЫК СТАТЬИ: английский

Резюме:

В данной статье приведены результаты исследований по удержанию и термической десорбции дейтерия в железе, хроме и сплаве EUROFER – представляющем новейший материал для фузионного (термоядерного) реактора. Исследования показали следующие результаты:

**Удержание дейтерия в хроме намного выше, чем в железе (из-за образования гибридов хрома)*

**Удержание дейтерия в сплаве EUROFER выше на фактор 2, чем в железе*

**Выявлена специфическая структура в концентрационном профиле железа и сплава EUROFER на глубине ~ 4 μm*

**Высокий уровень диффузии и удержания дейтерия свидетельствует о потенциальном применении Au в качестве диффузионного барьера в фузионном (термоядерном) реакторе.*

Ключевые слова: материалы для ядерного реактора, радиационные эффекты, диффузия, ядерный резонанс.

REZULTATI ZADRŽAVANJA I TERMALNE DESORPCIJE
DEUTERIJUMA U EUROFER-U, NOVOJ VRSTI FERITNO-
MARTENZITNOG ČELIKA NISKE AKTIVACIJE

Sanja Lj. Korica

Univerzitet Union – Nikola Tesla, Fakultet za ekologiju i zaštitu životne sredine,
Beograd, Republika Srbija

OBLAST: materijali

VRSTA ČLANKA: originalni naučni članak

JEZIK ČLANKA: engleski

Sažetak:

U ovom radu ispitivano je zadržavanje i termalna desorpcija deuterijuma u gvožđu, hromu i EUROFER-u, leguri koja se razmatra kao najnoviji materijal za buduće fuzione reaktore. Studija je pokazala sledeće rezultate:

- zadržavanje deuterijuma u hromu je mnogo veće nego u gvožđu (usled formiranja hidrida hroma),*
- zadržavanje deuterijuma u EUROFER-u je za faktor 2 veće nego u gvožđu,*
- primećena je specifična struktura u koncentracionom profilu gvožđa i EUROFER-a na dubini ~ 4 μm ,*
- veliki stepen difuznosti i zadržavanja deuterijuma govore o potencijalnoj upotrebi Au kao difuzione barijere u fuzionom reaktoru.*

Ključne reči: materijali za nuklearne reaktore, radijacioni efekti, difuzija, nuklearne rezonance.

Datum prijema članka / Дата получения работы / Paper received on: 21. 10. 2015.
 Datum dostavljanja ispravki rukopisa / Дата получения исправленной версии работы / Manuscript corrections submitted on: 23. 11. 2015.
 Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje / Дата окончательного согласования работы / Paper accepted for publishing on: 25. 11. 2015.

© 2016 The Author. Published by Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.унр.срб). This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2016 Autor. Objavio Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.унр.срб). Ovo je članak otvorenog pristupa i distribuirano se u skladu sa Creative Commons licencom (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2016 Автор. Опубликовано в "Военно-технический вестник / Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier" (www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.унр.срб). Данная статья в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией "Creative Commons" (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).



PROPERTIES OF THE ZrO₂MgO/MgZrO₃NiCr/NiCr TRIPLE- LAYER THERMAL BARRIER COATING DEPOSITED BY THE ATMOSPHERIC PLASMA SPRAY PROCESS

Mihailo R. Mrdak

Research and Development Center IMTEL Communications a.d.,

Belgrade, Republic of Serbia

e-mail: miki@insimtel.com,

ORCID iD:  <http://orcid.org/0000-0003-3983-1605>

DOI: 10.5937/vojtehg64-9612

FIELD: Chemical Technology

ARTICLE TYPE: Original Scientific Paper

ARTICLE LANGUAGE: English

Summary:

This paper presents the results of the examinations of TBC - ZrO₂MgO / MgZrO₃NiCr / NiCr thermal barrier layers deposited by the plasma spray process at the atmospheric pressure on substrates of Al alloys. In order to obtain the structural and mechanical properties of layers, which will provide a good heat and abrasion protection of the tail elevators of aircraft J-22 when firing "Lightning" and "Thunder" rockets, the deposition of three powder types was performed on 0.6 mm thick Al alloy substrates. This study describes a procedure of using triple-layer TBC coatings as a good combination among many available ones, which gives a good compromise between thermal protection and resistance to abrasion for protecting aircraft tail elevators. The study is mainly based on the experimental approach. The evaluation of the mechanical properties of layers was done by the examination of microhardness by method HV_{0.3} and bond strength on the tensile machine. The structure of layers was examined by the method of light microscopy while the surface of ZrO₂MgO ceramic layers was examined by the method of scanning electron microscopy (SEM). The thermal protection of TBC layers and resistance to abrasion were tested in the tunnel of the Military Technical Institute, Zarkovo. The obtained characteristics of the surface layers and the rocket firing simulations have proven the triple-layer system of TBC coatings reliable.

Key words: *substrates, protective, property, layers, coatings, barriers, alloys.*

ACKNOWLEDGMENT: The author is thankful for the financial support from the Ministry of Education and Science of the Republic of Serbia (national projects OI 174004, TR 34016).

Introduction

TBC - thermal barrier plasma spray coatings are widely used to protect parts of turbo jet engines and other engine parts exposed to high temperatures, oxidation, corrosion and erosion of gas particles. Plasma-deposited TBC ceramic coatings are a good solution for the thermal protection of diesel engine parts such as pistons, valves, etc. (Çelik, et al., 1997, pp.361-365), (Demirkiran, Avci, 1999, pp.292-295), (Miyamoto, et al., 1999, p.100). Oxide ZrO_2 was selected because of its high strength and fracture toughness compared to other oxides, and physical characteristics such as a thermal conductivity of $\lambda \approx 1.7 \text{ W/mK}$, a coefficient of thermal expansion of $\alpha \approx 9 \times 10^{-6} 1/\text{K}$ and a melting point of 2710°C (Boutz, et al., 1994, pp.89-102), (Chevalier, et al., 2009, pp.1901-1920). The polymorphism of pure ZrO_2 is an important feature (Johner, Schweitzer, 1984, pp.301-315). At the atmospheric pressure, there are three crystallographic phases: the monoclinic, the tetragonal and the cubic one. When alternating heating and cooling, the thermal fatigue of the ZrO_2 material occurs due to the volume changes caused by the phase transformation. As a result of the reversible transformation of the monoclinic phase into the tetragonal one, the occurrence of microcracks spreading and converting into macro crevices was observed in the temperature range of 950°C - 1170°C (Garvie, et al., 1975, pp.703-704), (Garvie, 1970, pp.117-166). For this reason, pure ZrO_2 is not suitable for the preparation of the TBC coating. In order to reduce the effect of the tetragonal transformation into the monoclinic one, other oxides such as MgO , CaO , Y_2O_3 , CeO_2 , HfO_2 , and In_2O_3 are added to pure ZrO_2 . These additives stabilize the ceramic layer partially or in full by forming a cubic structure stable from the room temperature up to more than 2000°C . ZrO_2 with addition of magnesium oxide MgO is often used as a TBC due to its high coefficient of linear expansion that is $11 \times 10^{-6} 1/\text{K}$, a coefficient of thermal conductivity of 1.5 W/mK , high resistance to thermal cycles, resistance to corrosion, and easy preparation of the coating by plasma spray spraying. When the TBC is subjected to elevated temperatures, this induces mechanical degradation that involves the stratification and cracking of ceramics as a result of the factors such as stresses due to thermal expansion conflicts related to the changes in the microstructure because of thermal cycles. TBC coatings consist of at least two layers. The outer, generally thicker layer is made of a ceramic material or a mixture of ceramics and fire-resistant metals, the primary purpose of which is to provide thermal insulation and resistance to thermal shocks. The material of the ceramic layer which is in a direct contact with the working fluid, has a drop of temperature per cross section even to 400 - 500°C (Mrdak, et al., 2013, pp.559-567), (Mrdak, et al., 2015, pp.337-343). That

layer should also have resistance to erosive effects and good bonding with the substrate material. The inner, thinner layer provides protection from the oxidative degradation of the base material, but also provides a good bond between the base metal and the outer ceramic layer. In order to reduce stresses, triple-layer systems of TBC coatings are often produced; they consist of the bonding $\text{Ni20\%Cr}$ layer, the transitional $\text{MgZrO}_3\text{35\%NiCr}$ cermet inter-layer and the top $\text{ZrO}_2\text{24\%MgO}$ ceramic layer. This study describes a method of using the triple-layer TBC coatings as a selection of a good combination among many available options, which provides a good compromise between the thermal protection and the resistance to erosion of the Al alloy substrate for protecting the tail elevators of aircraft J-22. The study is mainly based on the experimental approach. The properties of the deposited materials are generally functions of their microstructures. According to previous studies, plasma deposited ceramic deposits show a lamellar structure with limited inter - lamellar bonding (Li, Ohmori, 2002, pp.365-374) (Mrdak, et al., 2013, pp.559-567). Because of this, micro pores are present in the deposit as volume errors.

This paper presents the examination of a $\text{ZrO}_2\text{MgO/MgZrO}_3\text{NiCr/NiCr}$ triple-layer system of TBC coatings deposited by the atmospheric plasma spraying (APS) process on the substrates of Al alloys, which serve as the thermal abrasive barriers of the tail elevators of aircraft J-22. The aim of the study was to produce the TBC coatings of such structural and mechanical properties of the layers which will provide a good heat and abrasion protection on the aircraft tail elevators when firing "Lightning" and "Thunder" rockets. The microhardness and bond tensile strength of the triple system of TBC coatings and layer microstructures were examined. The obtained characteristics of the TBC layers and rocket firing simulations have proven the triple-layer system of TBC coatings reliable.

Materials and experimental details

The material on which layers of the $\text{ZrO}_2\text{MgO/MgZrO}_3\text{NiCr/NiCr}$ triple-layer TBC coating were deposited was aluminum alloy ENAW- $\text{AlMg1(C)}(\text{ENAW-5005})$. For the production of the top ceramic coating layers, the $\text{ZrO}_2\text{24\%MgO}$ powder of the Sulzer Metco company, labelled Metco 210NS-1, was used. The powder is produced by the method of casting into blocks and subsequent grinding of these blocks to obtain a specific granularity. The melting point of powder is 2140°C . The powder with a range of granules of $10\text{-}53\mu\text{m}$ (Metco 210NS-1 Powder Magnesium Zirconate, 2000.Sulzer Metco.Technical Bulletin 10-289) was used for the experiment. Figure 1 shows a (SEM) scanning electron photomicrography of the morphology of $\text{ZrO}_2\text{24\%MgO}$ powder particles. The powder particles are of an irregular angular shape.

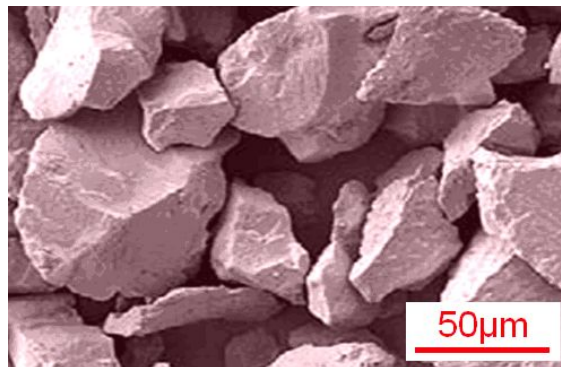


Figure 1 – (SEM) Scanning electron micrography of ZrO_2 24%MgO powder particles
 Slika 1 – (SEM) Skenirana elektronska mikrofotografija čestica praha ZrO_2 24%MgO
 Рис. 1 – (SEM) Электронная микрофотография частиц порошка ZrO_2 24%MgO

For the production of inter-layer TBC coatings, MgZrO_3 35%NiCr cermet powder of the Sulzer Metco company, labelled Metco 303NS – 1, was used. The powder is a mechanical mixture of ZrO_2 MgO powder and NiCr in relation 35%(80Ni20%Cr) + 65%(ZrO_2 24%MgO). Powder with a range of granules of 11-90 μm (Material Product Data Sheet, 2012. Metco 303NS-1 Magnesium Zirconate-Nickel Chromium Cermet Blends. Sulzer Metco DSMTS- 0070.0) was used for the experiment. For the production of the lower bonding layer, the powder type labelled Metco 43F-NS (an alloy of nickel and chromium Ni20%Cr) was used. The melting point of the powder is 1400°C. The powder with a range of granules of 10-63 μm (Material Product Data Sheet, 2012. Metco 43F-NS Nickel-20% Chromium Powders. Sulzer Metco. DSMTS-0109.0) was used for the experiment.

Testing the mechanical properties of the ZrO_2 MgO/ MgZrO_3 NiCr/NiCr TBC coating was done according to the Pratt & Whitney standard (Turbojet Engine – Standard Practices Manual (PN 582005), 2002. Pratt & Whitney, East Hartford, USA). The bases with deposited coating layers for the microhardness testing and the evaluation of microstructure in a deposited condition are made of ENAW-ALMg1(C)(ENAW 5005) aluminum alloy with the dimensions 70x20x1.5 mm. The bases for testing bond strength are also made of ENAW-ALMg1(C)(ENAW-5005) aluminum alloy with the dimensions Ø25x50mm. The investigation of the microhardness of the layers was done by the method $\text{HV}_{0.3}$ and the bond strength was tested on a tensile machine. Microhardness measurements were performed in the direction along the lamellas. Five readings of microhardness values of the layers were performed in the middle and at the ends of the samples while two extreme values were rejected. Out of three remaining values, minimum and maximum values are shown. The

bond strength testing was done at room temperature with a speed of tensile testing of 1cm/60s. The bond strength testing was performed for each individual coating 43F-NS (80Ni20%Cr), 303NS-1 (MgZrO₃35%NiCr) and 210NS-1 (ZrO₂24%MgO). The bond strength of the ZrO₂MgO/MgZrO₃NiCr/NiCr triple system of TBC coatings was tested as well. Five test pieces were examined for all types of coatings, out of which two extreme values were rejected. The average bond strength value is shown for the three remaining values. The morphology of the ZrO₂24%MgO powder particles and that of the deposited coating surface were determined by using scanning electron microscopy (SEM). The microstructure of the deposited layers was examined on the optical microscope (OM). The analysis of the share of micro pores in the coating layers was done on five photos at the 200X magnification. Over tracing paper, micro pores were labelled and shaded and their total area was counted in relation to the total surface of the micrographs. This paper presents the average value of the shares of micro pores in the TBC coating layers.

The deposition of powders was done with the atmospheric plasma spray system by the Plasmadyne company and the SG-100 plasma gun with controlled plasma spray parameters. The SG-100 plasma gun consisted of the cathode type K 1083A-129, the anode type A 1083-165 and the gas injector type GI 1083-113. Ar as an arched gas was used in combination with He and the power of supply of 40 KW. The plasma spray parameters of the deposition powders are shown in Table 1. Before the depositing process, the surface of the test samples and the surface of the substrate of the thermal abrasive barrier for the aircraft tail elevators were not roughened, due to the small thickness of the substrate of 0.6 mm. The bonding layers were deposited with a thickness of 60-80µm, the cermet layers with a thickness of 40-60µm and the top ceramic layer with a thickness of 280-300µm.

Table – 1 Parameters of the deposition of powders
Tabela 1 – Parametri depozicije prahova
Таблица 1 – Параметры напыления порошка

Parameters	43F-NS	303NS-1	210NS-1
Electric Current, I (A)	700	900	900
Arc voltage, U (V)	30	43	43
Primary plasma gas, l/min	50	50	50
Secondary plasma gas, l/min	12	12	12
Carrier gas powder, l/min	7	7	7
Powder feed rate, g/min	50	50	50
Distance of plasma guns, mm	90	100	100



Figure 2 – Section of the edge of the aircraft rear wing with a TBC coating

Slika 2 – Sekcija ivice zadnjeg krila aviona sa TBC prevlakom

Рис. 2 – Часть заднего крыла самолета с TBC покрытием

Figure 2 shows one section of the edge of the aircraft tail elevators with a deposited TBC coating.

Results and discussion

The values of microhardness and bond strength of TBC coating systems are shown in Figures 3 and 4. The metal bonding coating 43F-NS (Ni20%Cr) had the lowest values of microhardness of 238-254HV_{0.3}, which are within the limits of values prescribed by the powder manufacturer and by the standard (Material Product Data Sheet, 2012. Metco 43F-NS Nickel-20% Chromium Powders, Sulzer Metco. DSMTS-0109.0) (Turbojet Engine–Standard Practices Manual (PN 582005) 2002. Pratt & Whitney, East Hartford, USA). The measured values of the microhardness of the bonding layers indicate that the share of micro pores is within the prescribed limits, which was confirmed by the analysis of the shares of micro pores. Due to ceramics content, the layers of the cermet coating 303NS-1 (MgZrO₃35%NiCr) had higher values of microhardness, in a range of 293-330HV_{0.3} and in accordance with the Pratt & Whitney standard (Turbojet Engine–Standard Practices Manual (PN 582005) 2002. Pratt & Whitney, East Hartford, USA).

The layers of the ceramic coating Metco 210NS-1 ($\text{ZrO}_2\text{24\%MgO}$) had the highest microhardness values of 478-519HV_{0.3} that are characteristic for this type of the coating. These layers had the highest share of micro pores because ceramic particles create a weaker inter-lamellar contact in comparison to metal particles. Figure 3 shows the minimum and maximum values of the microhardness of TBC coatings.

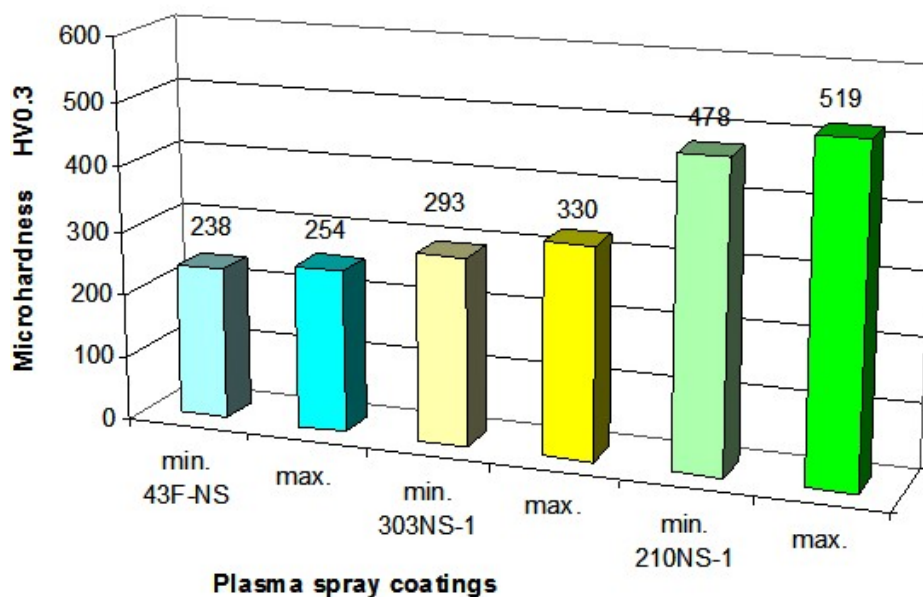


Figure 3 – Microhardness of $\text{ZrO}_2\text{24\%MgO}$, $\text{MgZrO}_3\text{35\%NiCr}$ and $\text{Ni20\%Cr}$ coatings
 Slika 3 – Mikrotvrdoća $\text{ZrO}_2\text{24\%MgO}$, $\text{MgZrO}_3\text{35\%NiCr}$ i $\text{Ni20\%Cr}$ prevlaka
 Рис. 3 – Микротвердость $\text{ZrO}_2\text{24\%MgO}$, $\text{MgZrO}_3\text{35\%NiCr}$ i $\text{Ni20\%Cr}$ покрытия

The tensile bond strength of coatings was directly related to the powder type. The highest bond strength values of 31 MPa were found in the metal bonding layers of 43F-NS($\text{Ni20\%Cr}$) coating. The layers of cermet coating 303NS-1 ($\text{MgZrO}_3\text{35\%NiCr}$) had a tensile bond strength of 22 MPa, while a minimum value of 17 MPa was found in the ceramic layers of Metco 210NS-1 ($\text{ZrO}_2\text{24\%MgO}$). For all coatings, the bond strength values were good because the coatings were deposited on the non-roughened substrates of Al alloy which reduce the tensile bond strength in relation to roughened substrates based on Fe or Ni alloys.

The average tensile strength value of the $\text{ZrO}_2\text{MgO/MgZrO}_3\text{NiCr/NiCr}$ system of TBC coatings was 30 MPa. The TBC coating was destroyed at the substrate/coating interface, which was expected due to two different materials. The measured values of microhardness and tensile bond

strength of the $\text{ZrO}_2\text{MgO/MgZrO}_3\text{NiCr/NiCr}$ system of of TBC coatings were in correlation with the microstructure of deposited layers.

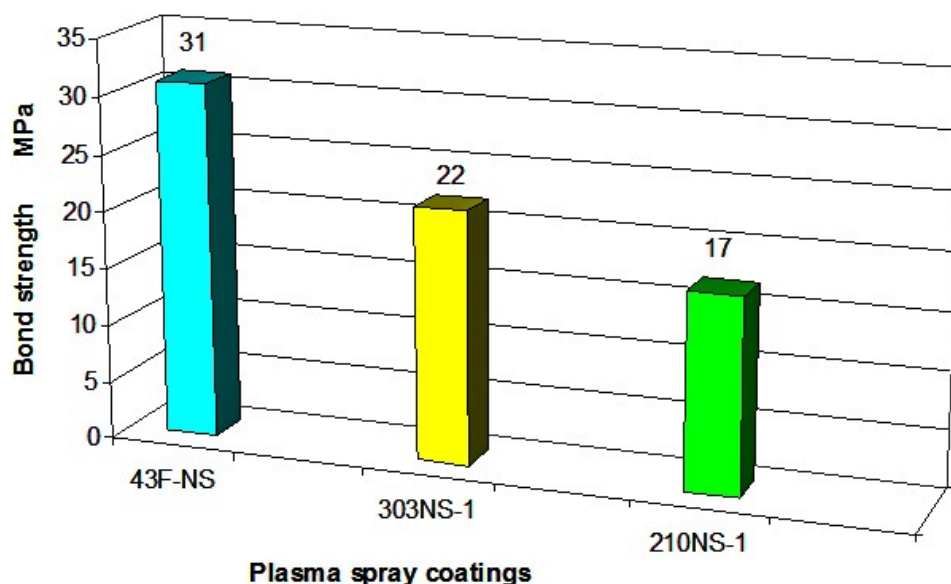


Figure 4 – Bond strength of $\text{ZrO}_2\text{24%MgO}$, $\text{MgZrO}_3\text{35%NiCr}$ and Ni20%Cr coatings

Slika 4 – Čvrstoća spoja $\text{ZrO}_2\text{24%MgO}$, $\text{MgZrO}_3\text{35%NiCr}$ and Ni20%Cr prevlaka

Рис. 4 – Микропрочность соединений $\text{ZrO}_2\text{24%MgO}$, $\text{MgZrO}_3\text{35%NiCr}$ and Ni20%Cr покрытия

Figures 5 and 6 shows the microstructure of the triple system of thermal barrier coatings TBC – $\text{ZrO}_2\text{24%MgO/MgZrO}_3\text{35%NiCr/Ni20%Cr}$. The photomicrographs clearly show the boundaries of the interface between the bonding coating layers and the substrate, the bonding coating and the cermet coatings, as well as between the cermet coatings and the ceramic coatings. The interface between the substrate and the bonding coating layers is very clean, which indicates a good bond between the coating layers with the substrate. At the interface between the substrate and the bonding coating layers there are no defects such as discontinuities of deposited layers, microcracks, macrocracks, coating peeling and separation from the substrate. Generally, the layers are uniformly deposited on the substrate. Along the following interfaces: the substrate / the bonding coatings, the bonding coatings / the cermet coatings and the cermet coatings / the ceramic coatings, there are no microcracks and macrocracks present. The bond between all layers is good.

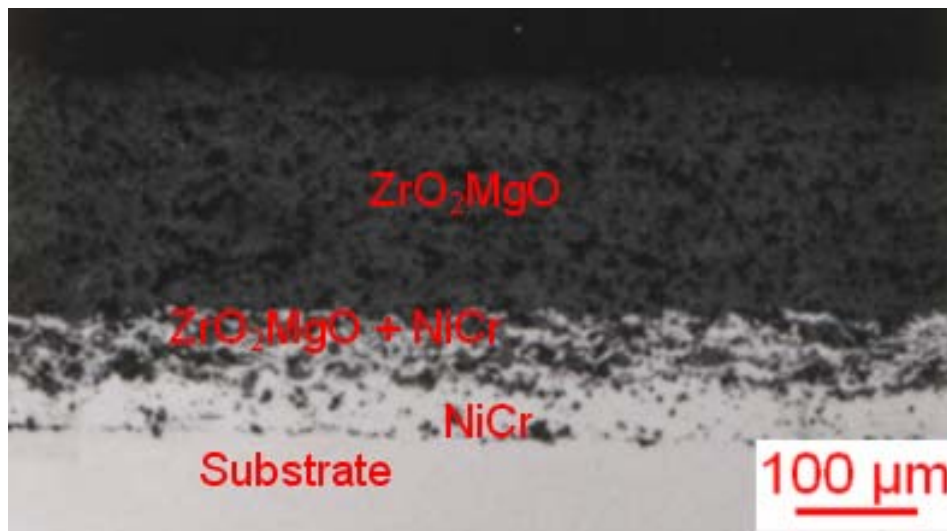


Figure 5 – Microstructure of the triple layer of $\text{ZrO}_2\text{MgO}/\text{MgZrO}_3\text{NiCr}/\text{NiCr}$ coatings

Slika 5 – Mikrotvrdoća troslojne prevlake $\text{ZrO}_2\text{MgO}/\text{MgZrO}_3\text{NiCr}/\text{NiCr}$

Рис. 5 – Микротвердость трехслойного покрытия $\text{ZrO}_2\text{MgO}/\text{MgZrO}_3\text{NiCr}/\text{NiCr}$

In the layers of deposited coatings, there were no unmelted powder particles observed, which indicates that the powders were deposited with the optimal deposition parameters. The analysis of the photomicrographs showed that in the layers of bonding coatings 43F-NS (Ni20%Cr) there were micro pores with an average share of 2.6%. The share of micro pores in the layers of cermet coatings 303NS-1 (MgZrO_3 35%NiCr) was 7%, and the layers of ceramic coatings 210NS-1 (ZrO_2 24%MgO) had the content of micro pores of 12%.

The microstructure of the Ni20%Cr bonding coating is lamellar. The coating base is a solid solution of chromium in nickel γ - Ni(Cr). Between the lamellas of the solid solution in the coating layers there are light gray oxides: NiO, NiCr_2O_4 , Cr_2O_3 and CrO_3 (Nicoll, 1984), (Mrdak, 2015, pp.32-55) due to oxidation of powder particles in plasma during the process of coating formation. In most cases, the oxide of chromium Cr_2O_3 is present and, in rare cases, oxide CrO_3 , formed in a thin layer on the surface of NiCr lamellae (Brossard, et al., 2010, pp.1608-1615). In the middle cermet inter-layer, there are clearly visible light gray lamellae of the bonding coating, evenly distributed between ceramic lamellae in dark gray. The top ceramic layer is uniformly deposited on the cermet layer in which black micro pores can be seen.

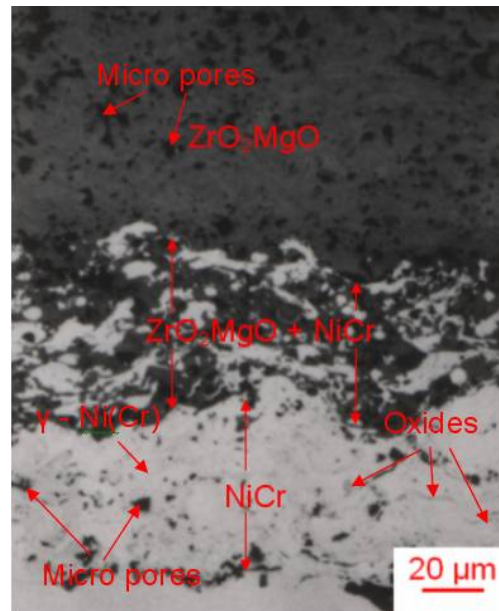


Figure 6 – Microstructure of the triple layer of $\text{ZrO}_2\text{MgO}/\text{MgZrO}_3\text{NiCr}/\text{NiCr}$ coatings

Slika 6 – Mikrotvrdoća troslojne prevlake $\text{ZrO}_2\text{MgO}/\text{MgZrO}_3\text{NiCr}/\text{NiCr}$

Рис. 6 – Микротвердость трехслойного покрытия $\text{ZrO}_2\text{MgO}/\text{MgZrO}_3\text{NiCr}/\text{NiCr}$

Figure 7 shows a SEM photomicrograph of the surface of a ZrO_2MgO molten particle. The SEM analysis of the morphology of the surface of the deposited ceramic ZrO_2MgO powder particle shows a complete melting and casting of ceramic particles on the previously deposited ceramic layer.

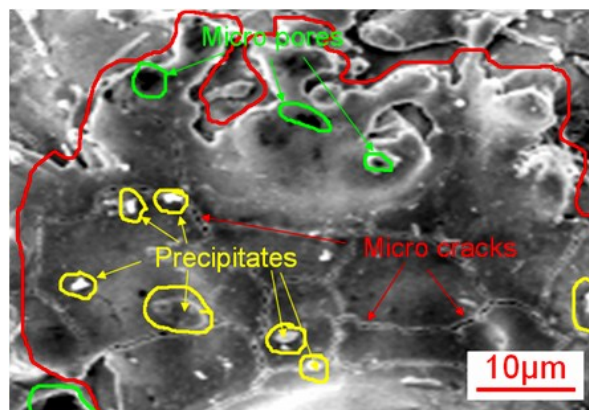


Figure 7 – (SEM) Morphology of the ZrO_2MgO coating surface

Slika 7 – (SEM) Morfologija površine ZrO_2MgO prevlake

Рис. 7 – Морфология поверхности ZrO_2MgO покрытия

The surface of the molten ZrO_2MgO powder particle was circled with a red line on the SEM micrograph. The molten powder particle formed an almost circular shape in the collision with the surface of the previously deposited layer. The surface of the particle shows a fine net of microcracks which cannot be avoided and which always occurs in the deposition process (Guo, et al., 2011, pp.161-174).

Microcracks are formed during the cooling of molten particles to the coating temperature. The inner coating layers, which have a higher temperature compared to that of the coating surface, are exposed to tensile stress and are opposed to the shrinkage of the particles on the coating surface. On the other hand, the particles on the coating surface while cooling and shrinking during solidification, are exposed to compression stresses. Microcracks on the particle surface are caused by tensile stresses of deposited layers which are always higher than compression stresses of the particles while cooling Guo, et al., 2011, pp.161-174), (Mrdak, et al. 2013, pp.559-567), (Mrdak, 2013, pp.426-432), (Mrdak, et al., 2015, pp.337-343). In the microstructure, there are fine precipitates of irregular shapes with a size up to 5 μm , circled in yellow. On the SEM micrograph, micro pores of irregular shapes in black with a size up to 5 μm are clearly seen and circled in green.

Conclusion

This paper describes how the APS - atmospheric plasma spray process was used to produce a triple-layer system of thermal barrier coatings TBC - $\text{ZrO}_2\text{24}\%\text{MgO/MgZrO}_3\text{35}\%\text{NiCr/Ni20}\%\text{Cr}$. The system of the deposited coatings consisted of the $\text{Ni80}\%\text{Cr}$ bonding layer, the intermediary $\text{MgZrO}_3\text{35}\%\text{NiCr}$ inter-cermet layer and the top $\text{ZrO}_2\text{24}\%\text{MgO}$ ceramic layer. The coatings were deposited on the test Al alloy samples on the surfaces without roughening. The mechanical properties and the microstructures of the coating layers were analyzed in the deposited condition, which led to the following conclusions.

The triple-layer system of the thermal barrier coatings had good mechanical properties with the bonding layer microhardness values of 238-254 $\text{HV}_{0.3}$, the intermediary cermet layer microhardness values of 293-330 $\text{HV}_{0.3}$ and the top ceramic layer microhardness values of 478-519 $\text{HV}_{0.3}$. The microhardness values were within the limits prescribed by the Pratt&Whitney standard. The bond strength of the deposited coatings on the non-roughened Al alloy samples had good values. The tensile bond strength was 31 MPa for the bonding layer, 22 MPa for the cermet coating and 17 MPa for the ceramics. The bond strength of the triple-layer system of TBC coatings is 30 MPa. The analysis of the photomicrographs has shown that the average share of micro pores was 2.6% in the bonding

layers, 7% in the cermet layers and 12% in the ceramic layers. The microstructure of the deposited coating layers is lamellar.

The coating base consists of a solid solution of chromium in nickel γ - Ni(Cr). There are light gray NiO, NiCr_2O_4 , Cr_2O_3 and CrO_3 oxides between the solid solution lamellae in the coating layers due to oxidation of powder particles in plasma during the coating formation process. In most cases, the oxide of chromium Cr_2O_3 is present and, in rare cases, oxide CrO_3 , formed in a thin layer on the surface of NiCr lamellae. The cermet inter-layer had a uniform distribution of bond coating lamellae between ceramic lamellae. The top ceramic layer is uniformly deposited on the cermet layer without the presence of unmelted particles.

The triple-layer system of thermal barrier coatings - ZrO_2 24%MgO / MgZrO_3 35%NiCr / Ni20%Cr, deposited on the Al alloy substrate as the thermal abrasive protection of the tail elevators of aircraft J-22, proved to be reliable protection against the jet temperature and jet abrasive particles during firing of "Lightning" and "Thunder" rockets.

Literature

Boutz, M.M.R., Winnubst, A.J.A., Burggraaf, A.J., 1994, Yttria-ceria stabilized tetragonal zirconia polycrystals: Sintering, grain growth and grain boundary segregation, *Journal of the European Ceramic Society*, 13(2), pp.89-102.

Brossard, S., Munroe, P.R., Tran, A.T.T., Hyland, M.M., 2010, Study of the microstructure of NiCr splats plasma sprayed on to stainless steel substrates by TEM, *Surface and Coatings Technology*, 204(9-10), pp.1608-1615.

Celik E, Avci E, Yilmaz F., 1997, Evaluation of Interface Reactions in Thermal Barrier Ceramic Coatings, *Surf. Coatings Technol.*, 97, pp.361–365.

Chevalier, J., Gremillard, L., Virkar, A.V., Clarke, D.R., 2009, The tetragonal-monoclinic transformation in zirconia: Lessons learned and future trends, *Journal of the American Ceramic Society*, 92(9), pp.1901-1920.

Demirkiran, A.S., Avci, E., 1999, Evaluation of functionally gradient coatings produced by plasma-spray technique. *Surf. Coat. Technol.* 116-119, pp.292–295.

Garvie, R.C., 1970, Zirconium dioxide and some of its binary systems, in: Alper, A.M., (ed.), *High-temperature oxides*, Vol. 5–II, Academic Press, New York, pp.117–166.

Garvie, R.C., Hannink, R.H.J., and Pascoe, R.T., 1975, 'Ceramic steel?', *Nature*, 258, pp.703-704.

Guo, H., Yao, R. and Zhpu, L., 2011, in 'Thermal barrier coatings', (ed. Xu, H. and Guo, H.) Cambridge, Woodhead Publishing Limited, pp.161-174.

Johner, G., Schweitzer, K.K., 1984, Thermal barrier coatings for jet engine improvement, *Thin Solid Films*, 119(3), pp.301-315.

Li, C.-J. and Ohmori, A., 2002, Relationships Between the Microstructure and Properties of Thermally Sprayed Deposits, *J. Thermal Spray Technol.*, 11(3), pp.365-374.

Material Product Data Sheet, 2012, Metco 43F-NS Nickel - 20% Chromium Powders. Sulzer Metco. DSMTS–0109.0.

Material Product Data Sheet, 2012, Metco 303NS-1 Magnesium Zirconate – Nickel Chromium Cermet Blends. Sulzer Metco. DSMTS–0070.0.

Metco 210NS-1 Magnesium Zirconate Powder, 2000, Sulzer Metco. Technical bulletin 10-289.

Miyamoto, Y., Kaysser, W.A., Rabin, B.H., Kawasaki, A., Ford, R.G., 1999, Functionally Graded Materials: Design, Processing and Applications, Kluwer Academic Publisher, Boston, p.100.

Mrdak, M., 2013, Ispitivanje mehaničkih i strukturnih osobina prevlaka otpornih na eroziju i visoke temperature, pp.426-432, SERBIATRIB '13, 13th International Conference on Tribology, Serbia, Kragujevac, 15-17.

Mrdak, M., Vencl, A., Nedeljkovic, B., Stanković, M., 2013, Influence of plasma spraying parameters on properties of the thermal barrier coatings, Materials Science and Technology, 29(5), pp.559-567.

Mrdak, M., Rakin, M., Medjo, B., Bajić, N., 2015, Experimental Study of Insulating Properties and Behaviour of Thermal Barrier Coating Systems in Thermo Cyclic Conditions, Materials & Design, 67, pp.337-343.

Mrdak, M., 2015, Investigation of the influence of plasma spray sealing coatings on the effect of sealing the TV2-117A turbojet engine compressor, *Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier*, 63(1), pp.32-55.

Nicoll, A.R., 1984, The environment – high temperature oxidation and hot corrosion, u: CEI Course on High Temperature Materials and Coatings, Finland.

Turbojet Engine – Standard Practices Manual (PN 582005), 2002, Pratt & Whitney, East Hartford, USA.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРЕХСЛОЙНЫХ ТЕРМОБАРЬЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ $ZrO_2MgO/MgZrO_3NiCr/NiCr$, НАНЕСЕННЫХ ВОЗДУШНО-ПЛАЗМЕННЫМ НАПЫЛЕНИЕМ

Михаило Р. Мрдак
Центр исследований и развития А.О. «ИМТЕЛ коммуникации», Белград,
Республика Сербия

ОБЛАСТЬ: химические технологии
ВИД СТАТЬИ: оригинальная научная статья
ЯЗЫК СТАТЬИ: английский

Резюме:

В данной статье представлены результаты испытаний термобарьерных покрытий ТБС $ZrO_2MgO/MgZrO_3NiCr/NiCr$, нанесенных воздушно-плазменным напылением при атмосферном давлении на субстраты сплавов Al.

Испытания проводились с целью получения структурных и механических характеристик слоев, обеспечивающих качественную и абразивную защиту задних крыльев самолета J-22 при выпуске ракет, а также от грома и молний. Нанесено напыление трех типов порошков на субстраты сплавов Al, толщиной 0,6 мм.

В данном исследовании представлен метод применения трехслойного ТБС покрытия, которое обладает лучшими защитными свойствами, когда речь идет о термоизоляции и защите от абразивного износа задних крыльев самолета.

Анализ механических характеристик покрытия проведен на основании испытаний микротвердости методом $HV_{0.3}$ и прочности соединений методом растяжения. Структура слоев испытана методом оптической микроскопии, а поверхность ZrO_2MgO испытана методом электронной микрографии (SEM).

Испытания теплоизоляционных ТБС слоев и сопротивления абразивному износу были проведены в аэродинамической трубе Военно-технического института Жарково. На основании полученных характеристик поверхности слоев и моделирования выпуска ракет, можно утверждать, что трехслойные системы ТБС являются надежным способом покрытия.

Ключевые слова: субстраты, защита, характеристика, слои, покрытие, барьер, сплавы.

SVOJSTVA TROSLOJNE TERMOBARIJERNE PREVLAKE $ZrO_2MgO/MgZrO_3NiCr/NiCr$ DEPONOVA NE ATMOSFERSKIM PLAZMA SPREJ PROCESOM

Mihailo R. Mrdak

Istraživački i razvojni centar IMTEL Komunikacije a. d., Beograd,
Republika Srbija

OBLAST: hemijske tehnologije

VRSTA ČLANKA: originalni naučni članak

JEZIK ČLANKA: engleski

Sažetak:

U radu su prikazani rezultati ispitivanja termobarijernih slojeva TBC – $ZrO_2MgO/MgZrO_3NiCr/NiCr$ koji su deponovani plazma sprej procesom na atmosferskom pritisku na substratima od legure Al. Radi dobijanja strukturnih i mehaničkih osobina slojeva, koji će obezbediti dobru toplotnu i abrazivnu zaštitu zadnjim krilima aviona J-22 pri ispaljivanju raketa munje i groma, izvršena je depozicija tri tipa praha na substratima od legure Al debljine 0,6 mm. Ova studija opisuje postupak korišćenja troslojne TBC prevlake kao izbor dobre kombinacije od mnogo raspoloživih mogućnosti, koja predstavlja kompromis između toplotne zaštite i otpornosti na abraziju za zaštitu zadnjih krila aviona. Studija se, uglavnom, zasniva na eksperimentalnom pristupu. Procena mehaničkih osobina slojeva urađena je ispitivanjem mikrotvrdoće me-

todom $HV_{0.3}$ i čvrstoće spoja ispitivanjem na zatezanje. Struktura slojeva ispitana je metodom svetlosne mikroskopije i površina ZrO_2MgO keramičkih slojeva metodom skenirajuće elektronske mikroskopije (SEM). Toplotna zaštita TBC slojeva i otpornost na abraziju ispitana je u tunelu Vojnotehničkog instituta iz Žarkova. Na osnovu dobijenih karakteristika površinskih slojeva i simuliranja ispaljivanja rakete, troslojni sistem TBC prevlake pokazao se pouzdanim.

Uvod

TBC termobarijerne plazma sprej prevlake uveliko se koriste kao zaštita delova turbomlaznih motora i za druge delove motora izložene visokim temperaturama, oksidaciji, gasnoj koroziji i eroziji čestica. Plazmom deponovane TBC keramičke prevlake dobro su rešenje za toplotnu zaštitu delova dizel motora, kao što su klipovi, ventili, itd. (Çelik, et al., 1997, pp.361-365), (Demirkiran, Avci, 1999, pp.292-295), (Miyamoto, et al., 1999, p.100). Izbor oksida ZrO_2 izvršen je zbog visoke čvrstoće i žilavosti loma u odnosu na druge okside i fizičkih karakteristika, kao što je toplotna provodljivost $\lambda \approx 1.7 \text{ W/mK}$, koeficijent termičke ekspanzije $\alpha \approx 9 \times 10^{-6} 1/K$ i temperature topljenja 2710°C (Boutz, et al., 1994, pp.89-102), (Chevalier, et al., 2009, pp.1901-1920). Na atmosferskom pritisku postoje tri kristalografske faze: monoklinična, tetragonalna i kubna. Prilikom naizmeničnog zagrevanja i hlađenja dolazi do toplotnog zamora ZrO_2 materijala usled zapreminskih promena uzrokovanih faznom transformacijom. Kao posledica reverzibilne transformacije monoklinične faze u tetragonalnu u temperaturnom opsegu od 950° do 1170°C uočen je nastanak mikropukotina koje se šire i pretvaraju u makropukotine (Garvie, et al., 1975, pp.703-704), (Garvie, 1970, pp.117-166). Zbog toga čisti ZrO_2 nije pogodan za izradu TBC prevlaka. Radi smanjenja efekta tetragonalne transformacije u monokliničnu, čistom ZrO_2 dodaju se drugi oksidi, kao što su: MgO , CaO , Y_2O_3 , CeO_2 , HfO_2 i In_2O_3 . ZrO_2 sa dodatkom magnezijumoksida MgO često se koristi kao TBC zbog velikog koeficijenta linearnog širenja koji je $11 \times 10^{-6} 1/K$, koeficijenta toplotne provodljivosti $1,5 \text{ W/mK}$, velike otpornosti na toplotne cikluse, otpornosti na koroziju i lake izrade prevlake plazma sprej prskanjem. TBC prevlake sastoje se najmanje od dva sloja: spoljašnjeg, po pravilu debljeg sloja, sačinjenog od keramičkog materijala ili mešavine keramike i vatropostojanih metala, koji pre svega treba da obezbedi toplotnu izolaciju i otpornost na termošokove. Materijal keramičkog sloja koji se nalazi u direktnom kontaktu sa radnim fluidom ima pad temperature po preseku i do $400\text{--}500^\circ\text{C}$ (Mrdak, et al., 2013, pp.559-567), (Mrdak, et al., 2015, pp.337-343). Da bi se smanjili naponi često se proizvode troslojni sistemi TBC prevlaka koji se sastoje od veznog sloja $Ni20\%Cr$, prelaznog kermet međusloja $MgZrO_335\%NiCr$ i gornjeg keramičkog sloja $ZrO_224\%MgO$. Ova studija

opisuje postupak korišćenja troslojne TBC prevlake kao izbor dobre kombinacije, od mnogo raspoloživih mogućnosti, koja daje dobar kompromis između toplotne zaštite i otpornosti na eroziju substrata od legure Al za zaštitu zadnjih krila aviona J-22. Studija se uglavnom zasnivala na eksperimentalnom pristupu. Svojstva deponovanih materijala su generalno funkcije njihovih mikrostruktura.

U ovom radu ispitan je troslojni sistem TBC prevlaka $ZrO_2MgO/MgZrO_3NiCr/NiCr$ koji je deponovan atmosferskim plazma sprej (APS) postupkom na substratima od legure Al, koji služe kao termoabrazivna barijera zadnjim krilima aviona J-22. Cilj rada je bio da se proizvedu TBC prevlake strukturnih i mehaničkih osobina slojeva, koji će obezbediti dobru toplotnu i abrazivnu zaštitu zadnjim krilima aviona pri ispaljivanju raketa munje i groma. Ispitane su mikrotvrdoće i zatezne čvrstoće spoja trojnih sistema TBC prevlaka i mikrostrukture slojeva. Na osnovu dobijenih karakteristika TBC slojeva i simuliranja ispaljivanja rakete troslojni sistem TBC prevlake pokazao se pouzdanim.

Materijali i eksperimentalni detalji

Materijal na kojem su deponovani slojevi troslojne TBC – $ZrO_2MgO/MgZrO_3NiCr/NiCr$ prevlake bio je od legure aluminijuma ENAW- $AlMg1(C)$ (ENAW-5005A). Za izradu slojeva gornje keramičke prevlake upotrebljen je prah $ZrO_224\%MgO$ firme Sulzer Metco sa oznakom Metco 210NS-1. Prah je proizveden metodom livenja u blokove i naknadnim mlevenjem blokova na određenu granulaciju. Temperatura topljenja praha je $2140^{\circ}C$. Za eksperiment se koristio prah koji je imao raspon granulata od 10 do $53\mu m$, a čestice praha su nepravilnog uglastog oblika (Metco 210NS-1 Magnesium Zirconate Powder, 2000. Sulzer Metco. Technical bulletin 10-289). Za izradu srednjih slojeva TBC prevlake upotrebljen je kermet prah $MgZrO_335\%NiCr$, firme Sulzer Metco, koji nosi oznaku Metco 303 NS-1. Prah je mehanička mešavina praha ZrO_2MgO i $NiCr$ u odnosu $35\%(80Ni20\%Cr)+65\%(ZrO_224\%MgO)$. Za eksperiment se koristio prah koji je imao raspon granulata od 11 do $90\mu m$ (Material Product Data Sheet, 2012. Metco 303NS-1 Magnesium Zirconate – Nickel Chromium Cermet Blends. Sulzer Metco. DSMTS-0070.0). Za izradu donjeg veznog sloja koristio se prah oznake Metco 43F-NS, koji je legura nikla i hroma $Ni20\%Cr$. Temperatura topljenja praha je $1400^{\circ}C$. Za eksperiment se koristio prah koji je imao raspon granulata od 10 do $63\mu m$ (Material Product Data Sheet, 2012. Metco 43F-NS Nickel - 20% Chromium Powders, Sulzer Metco. DSMTS-0109.0).

Ispitivanje mehaničkih karakteristika slojeva TBC prevlake $ZrO_2MgO/MgZrO_3NiCr/NiCr$ rađeno je prema standardu Pratt & Whitney (Turbojet Engine – Standard Practices Manual (PN 582005), 2002. Pratt & Whitney, East Hartford, USA). Osnove na kojima su deponova-

ni slojevi prevlake za ispitivanje mikrotvrdoće i za procenu mikrostrukture u deponovanom stanju izrađene su od legure aluminijuma ENAW- AlMg1(C) (ENAW-5005A) dimenzija 70x20x1,5 mm. Osnove za ispitivanje čvrstoće spoja takođe su izrađene od legure aluminijuma ENAW- AlMg1(C) (ENAW-5005A), dimenzija $\varnothing 25 \times 50$ mm. Ispitivanje mikrotvrdoće slojeva rađeno je metodom $\text{HV}_{0.3}$ i čvrstoće spoja ispitivanjem na zatezanje. Merenje mikrotvrdoće izvršeno je u pravcu duž lamela. Izvršeno je pet očitavanja vrednosti mikrotvrdoće slojeva u sredini i na krajevima uzoraka od kojih su odbačene dve krajnje vrednosti. Od tri preostale vrednosti prikazane su minimalne i maksimalne vrednosti. Ispitivanje čvrstoće spoja rađeno je na sobnoj temperaturi sa brzinom zatezanja 1cm/60s. Izvršeno je ispitivanje čvrstoće spoja pojedinačno svake prevlake 43F-NS(80Ni20%Cr), 303NS-1(MgZrO_3 35%NiCr) i 210NS-(ZrO_2 24%MgO), kao i ispitivanje čvrstoće spoja trojnog sistema TBC – ZrO_2 MgO/MgZrO₃NiCr/NiCr prevlaka. Ispitano je po pet epruveta za sve tipove prevlaka od kojih su odbačene dve krajnje vrednosti. Od tri preostale vrednosti prikazana je srednja vrednost čvrstoće spoja. Morfologija čestica praha ZrO_2 24%MgO i površina deponovane prevlake urađena je skeniranjem elektronskom mikroskopijom (SEM). Mikrostruktura deponovanih slojeva ispitana je na optičkom mikroskopu (OM). Analiza udela mikropora u slojevima prevlake urađena je obradom 5 fotografija na uveličanju 200x. Preko paus papira mikropore su označene i osenčene, a njihova ukupna površina računala se na ukupnu površinu mikrofotografije. U radu je prikazana srednja vrednost udela mikropora u slojevima TBC prevlake.

Depozicija prahova urađena je sa atmosferski plazma sprej sistemom, firme Plasmadyne, i plazma pištoljem SG-100, sa kontrolisanim plazma sprej parametrima. Plazma pištolj SG-100 sastojao se od katode tipa K 1083A-129, anode tipa A 1083-165 i gas injektora tipa GI 1083A-113. Kao lučni gas koristio se Ar u kombinaciji sa He i snaga napajanja do 40 KW. Pre procesa deponovanja površine ispitnih uzoraka i površina substrata termoabrazivne barijere za zadnja krila aviona nisu hrapavljene, zbog male debljine substrata od 0,6mm. Vezni slojevi su deponovani sa debljinom od 60 do 80 μm , kermet slojevi sa debljinom od 40 do 60 μm i gornji keramički sloj sa debljinom od 280 do 300 μm .

Rezultati i diskusija

Vezna metalna prevlaka 43F-NS(Ni20%Cr) imala je najmanje vrednosti mikrotvrdoće od 238 do 254 $\text{HV}_{0.3}$, koje su u granicama vrednosti koje propisuje proizvođač praha i standard (Material Product Data Sheet, 2012. Metco 43F-NS Nickel - 20% Chromium Powders. Sulzer Metco. DSMTS-0109.0), (Turbojet Engine-Standard Practices Manual (PN 582005) 2002. Pratt & Whitney, East Hartford, USA). Izmerene

vrednosti mikrotvrdoće veznih slojeva ukazuju na to da je udeo mikropora u propisanim granicama, što je potvrdila analiza udela mikropora. Zbog sadržaja keramike slojevi kermet prevlake 303NS-1(MgZrO₃35%NiCr) imali su veće vrednosti mikrotvrdoće, koje su bile u rasponu 293-330HV_{0.3} i u skladu sa standardom Pratt & Whitney (Turbojet Engine – Standard Practices Manual (PN 582005)(2002), Pratt & Whitney, East Hartford, USA). Slojevi keramičke prevlake Metco 210NS-1(ZrO₂24%MgO) imali su najveće vrednosti mikrotvrdoće od 478 do 519HV_{0.3} koje su karakteristične za ovaj tip prevlake. Ovi slojevi su pokazali najveći udeo mikropora, jer keramičke čestice ostvaruju slabiji međulamelarni kontakt u odnosu na metalne čestice. Zatezna čvrstoća spoja prevlaka bila je u direktnoj vezi sa tipom praha. Najveće vtrenosti čvrstoće spoja od 31 MPa imali su metalni vezni slojevi prevlake 43F- NS (Ni20%Cr). Slojevi kermet prevlake 303NS-1(MgZrO₃35%NiCr) imali su zateznu čvrstoću spoja od 22 MPa, a najmanju vrednost od 17 MPa imali su keramički slojevi Metco 210NS-1 (ZrO₂24%MgO). Za sve prevlake vrednosti čvrstoće spoja bile su dobre, jer su se prevlake deponovale na neohrapavljenim substratima od legure Al koji umanjuju zateznu čvrstoću spoja u odnosu na hrapavljene substrate na bazi legura Fe ili Ni. Srednja vrednost zatezne čvrstoće sistema TBC – ZrO₂MgO/MgZrO₃NiCr/NiCr prevlaka bila je 30 MPa.

Na uzorcima se jasno uočavaju granice međuspoja između slojeva vezne prevlake i substrata, vezne prevlake i kermet prevlake i kermet prevlake i keramičke prevlake. Međugranica između substrata i slojeva vezne prevlake je izuzetno čista, ukazujući na dobru vezu slojeva prevlake sa substratom. Na interfejsu između substrata i slojeva vezne prevlake nisu prisutni defekti kao što je diskontinuitet deponovanih slojeva, mikropukotine, makropukotine, ljuštenje i odvajanje prevlake sa substrata. Generalno, slojevi su ravnomerno deponovani na podlogu. Duž interfejsa između substrata/vezna prevlaka, vezna prevlaka/kermet prevlaka i kermet prevlaka/keramička prevlaka nisu prisutne mikropukotine i makropukotine. Veza između svih slojeva je dobra. U slojevima deponovanih prevlaka nisu uočene neistopljene čestice praha, ukazujući da su prahovi deponovani sa optimalnim parametrima depozicije. Analiza mikrofotografija je pokazala da su u slojevima vezne prevlake 43F-NS(Ni20%Cr) prisutne mikropore sa srednjim udelom od 2,6%. Udeo mikropora u slojevima kermet prevlake 303NS-1(MgZrO₃35%NiCr) bio je 7%, a u slojevima keramičke prevlake 210NS-1 (ZrO₂24%MgO); sadržaj mikropora bio je 12%. Analiza mikrofotografija je pokazala da su u slojevima vezne prevlake 43F-NS(Ni20%Cr) prisutne mikropore sa srednjim udelom od 2,6%. Udeo mikropora u slojevima kermet prevlake 303NS-1(MgZrO₃35%NiCr) bio je 7%, a u slojevima keramičke prevlake 210NS-1 (ZrO₂24%MgO) sadržaj mikropora iznosio je 12%. SEM analiza morfologije površine deponovane keramičke čestice praha ZrO₂MgO pokazuje potpuno toplje-

nje i razlivanje keramičkih čestica na prethodno deponovani keramički sloj. Istopljena čestica praha je u sudaru sa površinom prethodno deponovanog sloja formirala približno kružan oblik. Na površini čestice vidi se fina mreža mikropukotina koja se ne može izbeći i uvek se javlja u procesu depozicije (Guo, et al., 2011, pp.161-174). Mikropukotine se formiraju za vreme hlađenja istopljene čestice do temperature prevlake. Unutrašnji slojevi prevlake koji imaju veću temperaturu u odnosu na površinu prevlake izloženi su naponima na istezanje i suprotstavljaju se skupljanju čestice na površini prevlake. S druge strane, čestica na površini prevlake koja se hladi i skuplja tokom očvršćavanja izložena je naponima na sabijanje. Naponi na istezanje deponovanih slojeva koji su uvek veći od napona na sabijanje čestice koja se hladi na površini prevlake uzrokuju stvaranje mikropukotina na površini čestice (Guo, et al., 2011, pp.161–174), (Mrdak, et al. 2013b, pp.559-567), (Mrdak, 2013a, pp.426-432), (Mrdak, et al., 2015a, pp.337-343). U mikrostrukturi su prisutni fini precipitati nepravilnog oblika veličine do 5 μm , koji su zaokruženi žutom bojom. Na SEM mikrofotografiji jasno se vide mikropore nepravilnog oblika crne boje, veličine do 5 μm , zaokružene zelenom bojom.

Zaključak

U ovom radu je atmosferskim plazma sprej procesom (APS) proizveden troslojni sistem termobarijernih prevlaka $\text{TBC-ZrO}_2\text{24\%MgO/MgZrO}_3\text{35\%NiCr/ Ni20\%Cr}$. Sistem deponovanih prevlaka sastojao se od veznog sloja $\text{Ni80\%Cr}$, srednjeg prelaznog međukermet sloja $\text{MgZrO}_3\text{35\%NiCr}$ i gornjeg keramičkog sloja $\text{ZrO}_2\text{24\%MgO}$. Prevlake su deponovane na ispitnim uzorcima od legure Al na površinama bez hrapavljenja. Analizirane su mehaničke karakteristike i mikrostrukture slojeva prevlaka u deponovanom stanju, na osnovu čega se došlo do određenih zaključaka.

Troslojni sistem termobarijernih prevlaka imao je dobre mehaničke karakteristike sa vrednostima mikrotvrdoće veznog sloja od 238 do 254 $\text{HV}_{0.3}$, prelaznog kermet sloja od 293 do 330 $\text{HV}_{0.3}$ i gornjeg keramičkog sloja od 478 do 519 $\text{HV}_{0.3}$. Vrednosti mikrotvrdoće bile su u granicama koje propisuje standard Pratt & Whitney. Čvrstoća spoja deponovanih prevlaka na neohrapavljenim uzorcima od legure Al imale su dobre vrednosti. Za vezni sloj zatezna čvrstoća spoja bila je 31 MPa, za kermet prevlaku 22 MPa, a za keramiku 17 MPa. Čvrstoća spoja troslojnog sistema TBC prevlaka bila je 30 MPa. Analiza mikrofotografija je pokazala da je srednji udeo mikropora u veznim slojevima bio 2,6%, u kermet slojevima 7% i u keramičkim 12%. Mikrostruktura deponovanih slojeva prevlaka je lamelarna. Osnova prevlake sastoji se od čvrstog rastvora hroma u niklu $\gamma - \text{Ni}(\text{Cr})$. Između lamela čvrstog rastvora u slojevima prevlake prisutni su svetlosivi oksidi tipa NiO , Ni -

Cr_2O_4 , Cr_2O_3 i CrO_3 , usled oksidacije čestica praha u plazmi tokom procesa izrade prevlake. U većini slučajeva prisutan je oksid hroma Cr_2O_3 , a ređe oksid CrO_3 , koji se formiraju u vidu tankog sloja na površini NiCr lamela. Kermet međusloj imao je ravnomernu raspodelu lamela vezne prevlake između keramičkih lamela. Gornji keramički sloj ravnomerno je deponovan na kermet sloju bez prisustva neistopljenih čestica.

Troslojni sistem termobarijernih prevlaka ZrO_2 24%MgO/MgZrO₃35%NiCr/ Ni20%Cr deponovan na substratu od legure Al kao termoabrazivne zaštite zadnjih krila aviona J-22 pokazao se kao pouzdana zaštita od temperaturnog mlaza i abrazivnih čestica raketa munje i groma.

Ključne reči: supstrati, zaštita, svojstvo, slojevi, prevlake, barijere, legure.

Datum prijema članka / Дата получения работы / Paper received on: 28. 11. 2015.
Datum dostavljanja ispravki rukopisa / Дата получения исправленной версии работы / Manuscript corrections submitted on: 10. 12. 2015.
Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje / Дата окончательного согласования работы / Paper accepted for publishing on: 12. 12. 2015.

© 2016 Autor. Objavio Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (www.vtg.mod.gov.rs, втр.мо.уип.срб). Ovo je članak otvorenog pristupa i distribuiran se u skladu sa Creative Commons licencom (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2016 Автор. Опубликовано в "Военно-технический вестник / Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier" (www.vtg.mod.gov.rs, втр.мо.уип.срб). Данная статья в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией "Creative Commons" (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2016 The Author. Published by Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (www.vtg.mod.gov.rs, втр.мо.уип.срб). This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).



CHOICE OF THE MEANS OF TRANSPORT FOR THE CREATION OF A LOGISTIC SYSTEM RELYING ON UNCERTAINTIES

Maria Leonidovna Sokolova^a, *Vladimir Georgievich Chernov*^b
Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletovs (VISU),
Department of Management and Informatics in Technical and Economic
Systems, Vladimir, Russian Federation

^a e-mail: sok.masha2011@yandex.ru,

ORCID iD:  <http://orcid.org/0000-0003-4840-9115>

^b e-mail: vladimir.chernov44@mail.ru

ORCID iD:  <http://orcid.org/0000-0003-1830-2261>

DOI: 10.5937/vojtehg64-10304

FIELD: Computer Sciences, Fuzzy Sets

ARTICLE TYPE: Original Scientific Paper

ARTICLE LANGUAGE: English

Abstract:

In this work, a variant of the method of the multicriteria alternative choice ELECTRE, which allows taking into account uncertainties of expert estimates, was developed and studied. The modified method ELECTRE was tested on a problem solution of the logistics management transportation system "point of departure – point of destination". The suggested approach can increase the effectiveness of logistic management of goods delivery transport systems and reduce delivery time.

Key words: method ELECTRE, fuzzy sets, neural network, logistics, goods delivery.

Introduction

Although logistics has deep historical background, it is a rather young science. It developed significantly during World War II when it was applied to solving strategic tasks and organizing a successful cooperation of defense industry, rear supply bases and transport for providing troops. The concepts and methods of logistics began to be also applied in the civilian sector in the following years.

Logistics as a science and as an area of practical knowledge is of a great value nowadays. The activity in the field of logistics includes different areas: management of transport, warehousing, inventory and personnel management, organizational and information support, commercial activity and many others. It is difficult to determine more or less significant areas in the list above because a logistic system can be only a uniform system for delivering materials. A transport system or transport logistics provides such a unity, increasing concurrency of direct participants of logistic processes. The tasks of transport logistics are:

- creation of transport corridors,
- choice of a type of transport,
- choice of a cargo transport route,
- timetable scheduling.

The analysis of this list shows that 1st, 2^d and 3^d tasks can be solved by means of the graph theory, the methods of network planning, and the combinatorial theory. However, a task of choosing a transport type is a task of a multicriteria alternative choice for which these mathematical methods cannot be used because of their characteristics (Kosko, 1992).

The analysis of various works on transport logistics has shown that mathematical models of a transport type choice are not explained thoroughly. It is enough to use some numerical estimates which are, in most cases, limited to a set of criteria. Such approach does not consider at all uncertainty of expert estimates, different physical and logical meanings of used criteria - for example, cargo delivery speed can be presented by a numerical characteristic, and the cargo safety condition can be presented by a verbal characteristic such as "high, average, low".

It should be noted that, for experts estimating a type of transport, verbal estimates can be more convenient. In this article, a model of a transport type choice in logistic systems is considered, taking into account uncertainty factors.

Problem description

As noted in the introductory section, the task of a choice of a transport type for logistic system creation can be presented as a task of a multicriteria alternative choice where the alternatives are automobile, railway, air, and water (river or sea) means of transport. The following criteria are usually used (Lubentsova, 2008):

- speed of cargo delivery,
- expenses of cargo delivery,

- frequency of departures,
- safety of cargo,
- dependence on climatic conditions,
- reliability of timekeeping,
- ability to transport different freights,
- territorial availability.

It is easy to see that only three criteria can be calculated by numerical estimates for a concrete type of transport, while other criteria can be calculated in a marking system with a scale chosen in advance, or by verbal estimates such as "low, average, high".

Thus, there is an uncertainty in the system of criteria estimates having obviously expressed non statistical nature. That is why the standard task of a multicriteria alternative choice is transformed to a task of the best alternative choice with no statistical uncertainty of criteria estimates.

Different criteria like Wald's, Gurvit's, Bayes-Laplace's and Sevidzh's criteria are usually used for decision making in the conditions of uncertainty. It should be noted that their correct application is caused by certain conditions which are rather far from practice of logistic systems; besides, they cannot work with verbal estimates. The usage of the fuzzy sets theory will be the most suitable in this situation.

The most often used methods of a multicriteria alternative choice are based on the calculation of an integral estimate of alternatives by all sets of criteria. As it was already noted, the criteria of estimation of a transport type have different physical and logical nature; therefore, the correctness of integral convolution demands additional proofs. In these conditions, it is more preferable to use methods in which the choice of the best alternative is based on determining the relations of preference between alternatives, in particular the ELECTRE (Roy, 1996) method. At the same time, the standard ELECTRE method does not assume an uncertainty of criteria estimates.

Decision making procedure

The structure of a choice of a transport type for a logistic system is presented in Fig. 1:

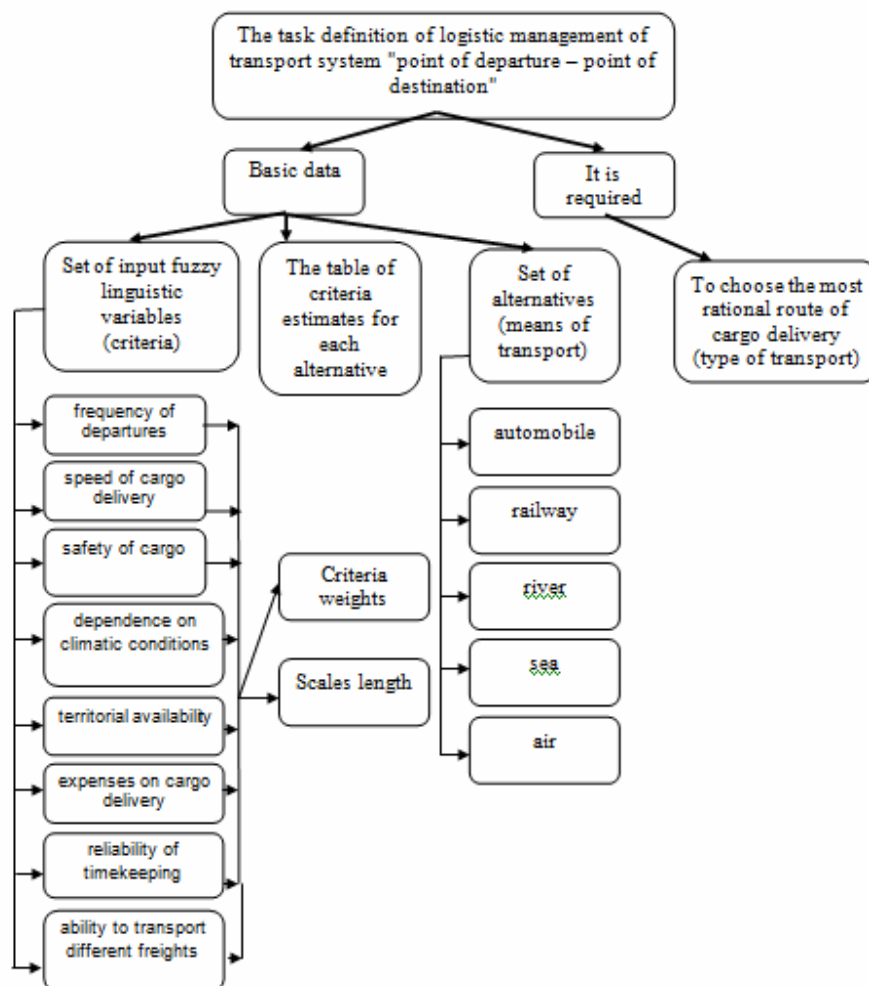


Figure 1 – Structure of a choice of a transport type for a logistic system
 Рис. 1 – Изображение выбора вида транспорта в системе логистики
 Slika 1 – Slika izbora vrste transporta za logistički sistem

It is necessary to give a set of marks of criteria compliance to each transport type, to define the criterion weight and the length of the corresponding scales. The specified task parameters are estimated in the expert way, so they will be represented as fuzzy numbers.

For this purpose, it is necessary to create a term set of variables and the corresponding verbal-numeric scales (Tab. 1). It can be noted that the numerical values given in Table 1 as well as in other tables have a conditional character. However, this circumstance does not affect the obtained results.

Table 1 – Verbal-numeric scale of variables
 Таблица 1 – Вербально-числовая шкала переменных
 Tabela 1 – Verbalno-numerička skala promenljivih

Designation	Linguistic evaluation	Numeric value
speed of cargo delivery	Low	[0, 250]
	Medium	[250, 500]
	High	[500, 750]
safety of cargo	Low	[0, 0.33]
	Medium	[0.33, 0.66]
	High	[0.66, 1]
dependence on climatic conditions	Low	[0, 0.33]
	Medium	[0.33, 0.66]
	High	[0.66, 1]
territorial availability	Low	[0, 0.33]
	Medium	[0.33, 0.66]
	High	[0.66, 1]
expenses of cargo delivery	Low	[0, 250]
	Medium	[250, 500]
	High	[500, 750]
frequency of departures	Low	[0, 33]
	Medium	[33, 66]
	High	[66, 100]
reliability of timekeeping	Low	[0, 0.33]
	Medium	[0.33, 0.66]
	High	[0.66, 1]
ability to transport different freights	Low	[0, 0.33]
	Medium	[0.33, 0.66]
	High	[0.66, 1]

A fuzzy set is determined for each linguistic variable with a membership function set on the corresponding interval, e.g. for the linguistic variable "safety of cargo" = {low, medium, high} = $\{\mu_H(x), \mu_{cp}(x), \mu_B(x), x \in [0, 1]\}$. One of the types of a membership function is presented in Fig. 2.

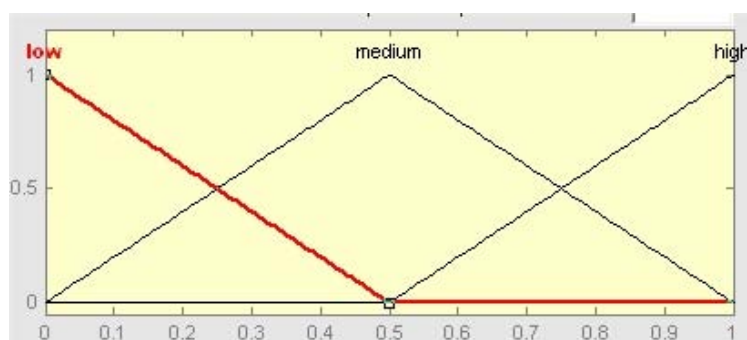


Figure 2 – Type of a membership function
 Рис. 2 – Тип функции принадлежности
 Slika 2 – Vrsta funkcije pripadnosti

This type of a membership function is chosen only because of the simplicity of graphical presentation. Other types are also possible, but with an obligatory implementation of the rules of a membership functions creation (Malyshev, et al., 1991). An expert determines a corresponding linguistic variable based on concrete criteria for each type of transport.

In the ELECTRE method, it is necessary to set the criterion weight and length of the corresponding scales, except for the estimates of criteria compliance. Defining the criterion weight is a task which always causes many questions (Venttsel, 1972).

The usage of the paired-comparison method with the subsequent calculation of the evector coordinates allows checking of, at least, the correctness of the creation of matrixes by calculating the conformity relation. However, the method is rather time consuming. Besides, as shown in research works (Tutygin, Boxes, 2010), for a large number of criteria, it is rather difficult to provide the established value of the conformity relation. Therefore, despite all shortcomings, expert estimates of values of the criterion weight are still popular and they are also used in the ELECTRE method.

In this research, the expert estimates of scales are presented in the form of fuzzy numbers for the account of uncertainty. The scale length in the ELECTRE method is a particular large-scale coefficient at which various criteria are leveled. A value of the scale length has to be chosen so as to reflect an approximately equal value (importance) of a decision-making criterion, i.e. there is an uncertainty element at the determination of this parameter, as well. For this purpose, scales lengths are also represented by fuzzy numbers.

The usage of estimates in the form of fuzzy numbers allows considering uncertainty of expert estimates, but it also demands to make changes to the algorithm of the ELECTRE method.

There are the sets of alternatives $A = \{a_i : i = \overline{1, N}\}$ and the sets of criteria $C = \{c_j : j = \overline{1, M}\}$, the criteria estimates are set by fuzzy numbers:

$$\tilde{m}_{ij} = \{ \mu_{ij}(x) : x \in S_j, S_j \in Re \}, \quad (1)$$

where $\mu_{ij}(x)$ is a membership function of a fuzzy number;

S_j is a scale on which criteria estimates are set by the criterion C_j .

The weight of criteria is also set as a fuzzy number:

$$\tilde{w}_j = \{ \mu_{w_j}(y) : y \in S_w \}. \quad (2)$$

In the ELECTRE method, the criteria of agreement and disagreement for structuring alternatives (Roy, 1996) which take into account formulas (1) and (2), are calculated in this way: the criterion of agreement -

$$\tilde{q}_{ik} = \frac{\sum_j \tilde{w}_j (i \geq k)}{\sum_j \tilde{w}_j}, \quad (3)$$

where $\sum_j \tilde{w}_j (i \geq k)$ is the sum of criteria weights on which the alternative i is better than the alternative k .

It should be noted that the sum of criteria weights is not equal to 1 in the ELECTRE method; the criterion of disagreement –

$$\tilde{r}_{i \succ k}(j) = \max(\tilde{m}_{kj} - \tilde{m}_{ij} / \tilde{L}_j), \quad (4)$$

where $\tilde{m}_{kj}$ is an estimate of the j -criterion by which the alternative k is more preferable than the alternative i ;

$\tilde{L}_j$ is the fuzzy length of the j -criterion scale.

The algorithm of calculations (3) and (4) is determined by a type of fuzzy numbers (Borisov, et al., 2014). The simplest way is the usage of fuzzy numbers in the LR-representation.

The criteria estimates of different transport types represented in a linguistic form (Tab. 1) are defined on the basis of the apriori information taken from (Tutygin, Boxes, 2010). The procedure for the criterion "the frequency of departures" is presented in Fig. 3. Transformations for all other criteria are carried out in the same way.

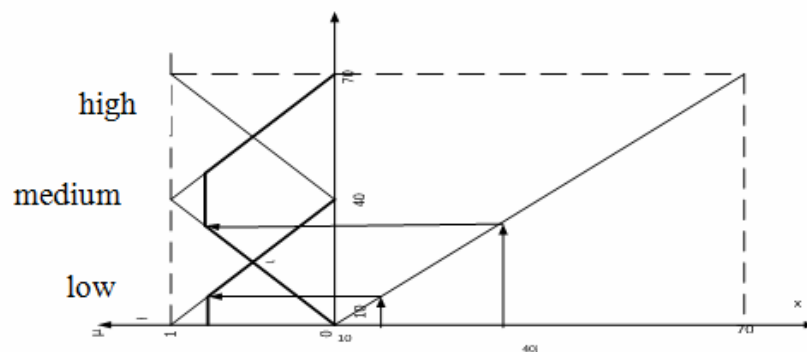


Figure 3 – Transformation of numerical estimates to linguistic estimates
 Рус. 3 – Преобразование числовых оценок в лингвистические оценки
 Slika 3 – Transformacija numeričkih estimacija u lingvističke estimacije

As a result, there are sets of linguistic estimates values by criteria for different types of transport (Tab. 2). Quantitative data have rather conditional estimates. They can have other values in reality, but it does not influence the algorithms of calculations and decision making.

Table 2 – Table of values estimates
Таблица 2 – Таблица оценок по критериям
Tabela 2 – Tabela vrednosti estimacija

	automobile (A)	railway (B)	river (C)	sea (D)	air (E)
speed of cargo delivery (kmph)	Low (35)	Low (15)	Low (15)	Low (17)	High (500)
safety of cargo (points)	High (0.7)	High (0.8)	Medium (0.5)	Medium (0.5)	High (0.9)
dependence on climatic conditions (points)	Medium (0.6)	Low (0.3)	Medium (0.6)	Medium (0.6)	Medium (0.5)
territorial availability (points)	High (1)	Medium (0.6)	Medium (0.5)	Medium (0.5)	Medium (0.5)
expenses of cargo delivery (rubles/km)	Low (15)	Low (50)	Medium (150)	Medium (200)	High (500)
frequency of departures (times per day)	High (70)	Low (30)	Low (10)	Low (10)	Low (10)
reliability of timekeeping (points)	Low (0.3)	Medium (0.5)	Medium (0.4)	Medium (0.4)	High (0.9)
ability to transport different freights (points)	Medium (0.4)	Medium (0.5)	Medium (0.4)	Medium (0.4)	Medium (0.5)

As it was already noted, the ELECTRE method assumes that experts set criteria weights and scales lengths on them, as well as these procedures, need additional research. Let us suppose that experts have chosen the weights and lengths of the scales presented in Table 3. As it can be seen in the table, the weights of the criteria in the form of LR-fuzzy numbers are somewhat different. The lengths of the scales in the form of LR-fuzzy numbers approximately correspond to the criteria estimates, and for the criteria where estimates are given in the form of points, the length of the scale is approximately equal to 1.

Table 3 – Table of weights and lengths of the criteria scales
 Таблица 3 – Таблица весов и длин шкал критериев
 Tabela 3 – Tabela težina i dužina kriterijumskih skala

Criteria	Criteria weight	Scales length
speed of cargo delivery	[7, 8, 9]	[450 500 550]
safety of cargo	[6, 7, 8]	[0.5, 1, 1.5]
dependence on climatic conditions	[4, 5, 6]	[0.5, 1, 1.5]
territorial availability	[5, 6, 7]	[0.5, 1, 1.5]
expenses of cargo delivery	[7, 8, 9]	[450 500 550]
frequency of departures	[5, 6, 7]	[50 100 150]
reliability of timekeeping	[7, 8, 9]	[0.5, 1, 1.5]
ability to transport different freights	[7, 8, 9]	[0.5, 1, 1.5]

It is convenient to use the fuzzy table FuzzyCalc (Chernov, 1998) for calculating formulas (3) and (4).

The results of the calculations of the agreement and disagreement indexes are presented in Figs. 4 and 5.

	A	B	C	D	E	F
1	Расчет индексов согласия:					
2		A	B	C	D	E
3	A	-	0,505917	0,867286	0,867286	0,361369
4	B	0,505917	-	1,01183	1,01183	0,596259
5	C	0,379438	0,144548	-	0,867286	0,361369
6	D	0,379438	0,144548	0,867286	-	0,361369
7	E	0,650465	0,560122	0,867286	0,867286	-

Figure 4 – Matrix of agreement indexes

Рис. 4 – Матрица индексов согласия

Slika 4 – Matrica indeksa slaganja

17		A	B	C	D	E
18	A	-	0,3	0,1	0,1	0,93
19	B	0,4	-	0	0,004	0,97
20	C	0,6	0,3	-	0,004	0,97
21	D	0,6	0,3	0,1	-	0,966
22	E	0,6	0,9	0,7	0,6	-

Figure 5 – Matrix of disagreement indexes

Рис. 5 – Матрица индексов несогласия

Slika 5 – Matrica indeksa neslaganja

The main phases of the ELECTRE method:

– two indexes (agreement and disagreement) are counted on the basis of the set estimates of two alternatives values. These indexes define agreement and disagreement with a hypothesis that the alternative A dominates the alternative B;

– the levels of agreement and disagreement (to which the counted indexes for each couple of alternatives are compared) are set. If the index of agreement is higher than the set level, and a disagreement index is lower, one of the alternatives dominates another. Otherwise, the alternatives are incomparable;

– the dominated alternatives are removed from the set of alternatives. The remained alternatives form the first base. The alternatives entering the base can be either equivalent or incomparable;

– the “weaker” values of the levels of agreement and disagreement (a lower value of the level of agreement, and a higher level of disagreement) are entered to which the bases with a smaller number of alternatives are allocated;

– the last base includes the best alternatives. The sequence of bases determines the order of alternatives by quality.

The levels of agreement C and disagreement D for our example are $C=0.582571$ and $D=0.309467$. The values below the level of agreement C and higher than the level of disagreement D are rejected. The base of the dominating alternatives includes the alternatives A , B , C and D (automobile, railway, river and sea means of transport). On the basis of these data, the preference graph is presented in Fig. 6, showing that the automobile transport is the best one under the given conditions.



Figure 6 – The preference graph
Рис. 6 – Граф предпочтений
Slika 6 – Grafički prikaz najboljeg izbora

A disadvantage of the ELECTRE method is a participation of a decision maker in the formation of bases. A possibility to overcome this disadvantage: the levels of agreement and disagreement form the square tables $N \times N$ with the blank main diagonal $\tilde{Q} = \|\tilde{q}_{ik}\|$, $\tilde{R} = \|\tilde{r}_{ik}\|$ the elements of which are fuzzy numbers.

A fuzzy number is a fuzzy set defined on a real axis; therefore, it is possible to apply a sum operation to fuzzy numbers for structuring alternatives:

$$\tilde{\alpha}_i = \bigcup_k \tilde{q}_{ik}, \quad (5)$$

$$\tilde{\gamma}_i = \bigcup_k \tilde{r}_{ik}. \quad (6)$$

The estimates received on formulas (5) and (6) are the integrated values of the agreement and disagreement coefficients by all sets of criteria. Thus, formula (5) characterizes a "soft" approach and formula (6) a "rigid" approach. It is obvious that the most preferable alternative should have the maximum value of $\tilde{\alpha}_i$ (Fig. 7) and the minimum value of $\tilde{\gamma}_i$ (Fig. 8). The obtained values of these parameters confirm the result obtained earlier.

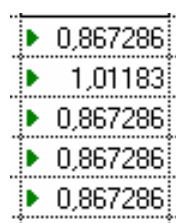


Figure 7 – Maximum value of $\tilde{\alpha}_i$

Рис. 7 – Максимальное значение $\tilde{\alpha}_i$

Slika 7 – Maksimalna vrednost $\tilde{\alpha}_i$

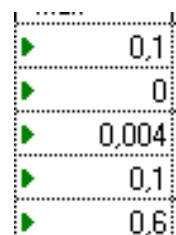


Figure 8 – Minimum value of $\tilde{\gamma}_i$

Рис. 8 – Минимальное значение $\tilde{\gamma}_i$

Slika 8 – Minimalna vrednost $\tilde{\gamma}_i$

Thus the alternative B unambiguously has the maximum value of $\tilde{\alpha}_i$ (5), and the two alternatives (B and C) have the minimum of $\tilde{\gamma}_i$. Although the results do not contradict each other, it is necessary to make additional verification of the obtained decision.

One more solution of the considered task is possible, due to the existence of uncertainty in the basic data and results (Fig. 9). The matrixes of the agreement and disagreement coefficients can be considered as the matrixes of the fuzzy values characterizing uncertainty of a situation, so fuzzy entropy can be used for estimating alternative

decisions (Chernov, 2014). It is determined by the classical formula of Shannon (Deshmukh, Khot, 2011):

$$H_i = -\sum_k \mu_{i,k} \log_2 \mu_{i,k} \quad (7)$$

17		A	B	C	D	E		max	entropy
18	A	-	0.3	0.1	0.1	0.93	0.93	1.49026	
19	B	0.4	-	0	0.004	0.97	0.97	IFMLA	
20	C	0.6	0.3	-	0.004	0.97	0.97	IFMLA	
21	D	0.6	0.3	0.1	-	0.966	0.966	1.48077	
22	E	0.6	0.9	0.7	0.6	-	0.9	1.48454	
23									

Figure 9 – Entropy calculation
Рис. 9 – Расчет энтропии
Slika 9 – Izračunavanje entropije

Entropy is an estimation of an uncertainty level, so the best decision should have the minimum entropy value. The calculations which are carried out by formula (7) confirm the already obtained results – the best is the alternative B. Thus, three different methods of solving the same task led to the same results, which is in full accordance with the methodology of the stability theory according to which the result of data processing is invariant concerning a method of data processing.

Conclusion

It has been proven that taking into account uncertainty in expert estimates allows making a transport type choice more reasonable, based on the example of the considered problem of a transport type choice for a logistic system. The obtained results give the reason to discuss an opportunity of practical application of the modified ELECTRE method in the conditions of uncertainty of expert estimates. Obtaining the same results by different independent methods confirms their validity.

References

- Borisov, V.V., Fedulov A.S., Zernov M. M., 2014, Bases of fuzzy arithmetic, Moscow, the Telecom.
- Chernov, V.G., 1998, Solution of business tasks by means of fuzzy algebra, Moscow, Diagramm.
- Chernov, V.G., 2014, Entropy criterion of decision-making in the conditions of full uncertainty, *Management information systems*, 6, pp.51-56.
- Deshmukh, K.C., Khot, P.G., 2011, Generalized Measures of Fuzzy Entropy and their Properties, *Engineering & Technology*, 56, p.994.
- Kosko, B., 1992, Neural Networks and Fuzzy Systems, New York, Englewood Cliffs.
- Lubentsova, V.S., 2008, Mathematical models and methods in logistics, Samara, Samar university.

Malyshev, N.G., Berstein, L.S., Bozhenyuk, A.V., 1991, Fuzzy models for expert systems in SAPR, Moscow, Energoatomizdat.

Roy, B., 1996, Multicriteria Methodology for Decision Aiding, Dordrecht, Kluwer Academic Publisher.

Tutygin, A.G., Boxes, V.B., 2010, Advantages and disadvantages of the analysis method of hierarchies, *Natural and exact sciences*, 1(122), pp.108-115.

Venttsel, E.S., 1972, Research of operations, Moscow, Soviet radio.

ВЫБОР ВИДА ТРАНСПОРТА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С УЧЕТОМ ФАКТОРОВ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Мария Леонидовна Соколова, Владимир Георгиевич Чернов
Владимирский Государственный Университет имени Александра
Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, кафедра управления
и информатики в технических и экономических системах, г. Владимир,
Российская Федерация

ОБЛАСТЬ: компьютерные науки, нечеткие множества

ВИД СТАТЬИ: оригинальная научная статья

ЯЗЫК СТАТЬИ: английский

Резюме:

В работе была разработана и исследована модификация метода многокритериального альтернативного выбора ELECTRE, учитывающая неопределенности экспертных оценок. Разработанный вариант был протестирован на решении задачи логистического управления транспортной системой «пункт отправления – пункт назначения». Предложенный подход позволяет повысить эффективность логистического управления транспортной системы доставки грузов и сократить время доставки.

Введение:

К задачам транспортной логистики относят:

- создание транспортных коридоров;*
- выбор вида транспорта;*
- выбор маршрута транспортировки грузов;*
- составление расписаний.*

Анализируя этот перечень можно отметить, что задачи 1,3 и 4 могут решаться с помощью теории графов, методов сетевого планирования, комбинаторики. В тоже время, задача выбора вида транспорта – это задача многокритериального

альтернативного выбора, для решения которой указанные математические методы не могут использоваться в силу ее специфики. В настоящей статье рассматривается модель выбора вида транспорта в логистических системах с учетом факторов неопределенности

Постановка задачи:

Как отмечалось во введении, задача выбора вида транспорта для построения логистической системы может быть представлена как задача многокритериального альтернативного выбора, где в качестве альтернатив выступают: автомобильный, железнодорожный, воздушный, водный (речной или морской) виды транспорта. В этих условиях более предпочтительным является использование методов, в которых выбор наилучшей альтернативы основывается на установлении отношений предпочтения между альтернативами, в частности – метод ELECTRE. В тоже время, стандартный метод ELECTRE не предполагает нечеткость оценок критериального соответствия.

Метод решения:

В настоящем исследовании для учета неопределенности экспертных оценок весов, которые представляются в виде нечетких чисел. Использование оценок в виде нечетких чисел позволяет учесть неопределенность экспертных оценок, но при этом требуется внести изменения в алгоритм реализации метода ELECTRE. Три различных варианта решения одной и той же задачи были продемонстрированы в данной статье и привели к совпадающим результатам, полностью соответствует методологии теории устойчивости, согласно которой результат обработки данных инвариантен относительно метода обработки соответствует реальности.

Заключение:

На примере рассмотренной задачи выбора вида транспорта для логистической системы доказано, что учет неопределенности в экспертных оценках позволяет сделать выбор вида транспорта более обоснованным. Полученные результаты дают основание говорить о возможности практического применения модифицированного метода ELECTRE в условиях неопределенности экспертных оценок. Совпадение результатов, полученных при проведении различных и независимых методов подтверждает их реальность.

Ключевые слова: метод ELECTRE, нечеткие множества, нейронная сеть, логистика, доставка грузов.

IZBOR NAČINA TRANSPORTA PRI STVARANJU LOGISTIČKOG SISTEMA S FAKTOROM NESIGURNOSTI

Maria Leonidovna Sokolova, Vladimir Georgievič Černov
Državni univerzitet u Vladimiru „Aleksandar i Nikolaj Stoletov“ (VISU), Katedra
za rukovođenje i informatiku u tehničkim i ekonomskim sistemima, Vladimir,
Ruska Federacija

OBLAST: kompjuterske nauke, fazi skupovi
VRSTA ČLANKA: originalni naučni rad
JEZIK ČLANKA: engleski

Sažetak:

Ovaj rad predstavlja razvijanje varijante metoda višekriterijumskog izbora alternativa pod nazivom ELECTRE koji uzima u obzir nesigurnosti ekspertskih procena. Modifikovan metod ELECTRE testiran je na rešavanju problema logističkog upravljanja transportnim sistemom po principu „od vrata do vrata“. Predloženi pristup može da poveća efikasnost logističkog upravljanja transportnim sistemima za isporuku robe, kao i da smanji vreme isporuke.

Neki od zadataka logistike transporta su sledeći:

- stvaranje transportnih koridora,
- izbor vrste transporta,
- izbor rute kargo transporta i
- planiranje vremena transporta.

Uvod

Analiza liste pokazuje da se tri zadatka mogu rešiti pomoću teorije grafova, metoda planiranja mreže, kao i teorijom kombinatorike. Međutim, zadatak izbora vrste transporta je zadatak iz oblasti višekriterijumskog odlučivanja o izboru alternativa zbog čijih karakteristika nije moguće koristiti matematičke metode. U članku se razmatra model izbora vrste transporta u logističkim sistemima koji uzima u obzir faktore nesigurnosti.

Opis problema

Kao što je pomenuto u uvodu, izbor vrste transporta pri kreiranju logističkog sistema može da se predstavi kao zadatak višekriterijumskog izbora između alternativa koje mogu biti transport: motornim vozilom, železnicom, vazdušnim ili vodenim (rečnim ili morskim) sredstvima. U takvim uslovima poželjno je korišćenje metoda u kojima je izbor najbolje alternative zasnovan na određivanju odnosa preferencija između alternativa, a naročito metoda ELECTRE. Pri tome, standardni oblik metoda ELECTRE ne uzima u obzir nesigurnost procene kriterijuma.

Postupak odlučivanja

U ovom istraživanju ekspertske procene skala predstavljene su u obliku fazi brojeva kako bi se nesigurnosti uzele u obzir. Korišćenje procena u obliku fazi brojeva omogućava razmatranje nesigurnosti ekspertskih procena, ali zahteva i unošenje promena u algoritam metoda ELECTRE. U radu su predstavljena tri različita načina za rešavanje istog zadatka. Sva tri su dovela do istog rešenja, što je potpuno u skladu s metodologijom teorije stabilnosti po kojoj je rezultat obrade podataka invarijantan u odnosu na metod obrade podataka.

Zaključak

Na primeru rešavanja problema izbora vrste transporta pri kreiranju logističkog sistema dokazano je da uzimanje u obzir nesigurnosti ekspertskih procena doprinosi celishodnijem izboru vrste transporta. Dobijeni rezultati ukazuju na mogućnost primene modifikovanog metoda ELECTRE u uslovima nesigurnosti ekspertskih procena. Isti rezultati, dobijeni različitim metodama, potvrđuju njihovu valjanost.

Ključne reči: *metod ELECTRE, fazi skupovi, neuronska mreža, logistika, isporuka robe*

Paper received on / Дата получения работы / Datum prijema članka: 18. 02. 2016.
 Manuscript corrections submitted on / Дата получения исправленной версии работы /
 Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 28. 02. 2016.
 Paper accepted for publishing on / Дата окончательного согласования работы / Datum
 konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 01. 03. 2016.

© 2016 The Authors. Published by Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (www.vtg.mod.gov.rs, втр.мо.унр.срб). This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2016 Авторы. Опубликовано в "Военно-технический вестник / Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier" (www.vtg.mod.gov.rs, втр.мо.унр.срб). Данная статья в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией "Creative Commons" (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2016 Autori. Objavio Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (www.vtg.mod.gov.rs, втр.мо.унр.срб). Ovo je članak otvorenog pristupa i distribuirati se u skladu sa Creative Commons licencom (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).



NEGATIVE IONS OF ATOMS AND DIATOMIC AND TRIATOMIC MOLECULES

Leonid I. Grethchikhin^a, Viktoriya M. Komarovskaya^b

^a Belarusian State Academy of Communications, Minsk, Belarus,
e-mail: Gretchihin@yandex.ru,

ORCID iD:  <http://orcid.org/0000-0002-5385-9037>

^b Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus,
e-mail: maratovna81@tut.by

DOI: 10.5937/vojtehg64-9685

FIELD: Materials, Nanotechnology, Structure and properties of negative ions

ARTICLE TYPE: Original Scientific Paper

ARTICLE LANGUAGE: English

Summary:

Electron affinity is not determined by solving the Schrödinger equation, but by using a wide range of various types of interactions. In atoms, the bound between the external electron and the integrated electric dipole moment of a neutral atom mainly contributes to electron affinity. In diatomic molecules, electron affinity is defined mainly by the interaction of the external electron and the integrated electric dipole moment of the nearest ion. In a triatomic molecule, the external electron interacts with all integrated dipole moments of the positive core.

Key words: dipole moment, negative ion, atom, diatomic molecule, triatomic molecule .

Introduction

At the present moment, due to the application of ion-plasma sputtering of nano-sized strengthening layers using vacuum high-current voltage arcs, there is a need for clarifying the role of negative ions in the process of field-emission cathodes sputtering. To manage these arcs, one should know how negative ions are formed and how their existence influences the plasma state of the voltage arc.

A serious consideration was paid to negative ions in the middle of the 1950s for the first time, as a result of the beginning of outer space development projects, when direct measurements helped to establish the fact that there were only negative ions near the rocket vehicle surface in

the area of the Earth's shadow at flight altitudes of 90-130 km (Johnson, 1956). It led to detailed studies of negative ions formation and the identification of physical and chemical processes occurring when negative ions exist under different conditions (Massey, 1976) and (Grethcikhin, 2003). Experimental works have been dedicated mainly to measuring affinity energies and to chemical reactions behavior with formation and decomposition of negative ions (Massey, 1976).

Theoretical studies have been oriented towards the development of the calculation methods for the energies of electron affinity to atoms and molecules using Hartree-Fock wave functions and self-consistent potential by solving the Schrödinger equation in consideration of the correlation interaction between valence electrons (Massey, 1976). The conducted theoretical studies of negative ions formation gave no positive results as the applied model of the centrally symmetric field did not comply with actual interactions occurring in negative ions.

Formations of negative ions and chemical reactions behavior with participation of negative ions were studied mainly on glow discharges, i.e. an attempt was made to simulate in some way conditions of the upper atmosphere layers in laboratory conditions. These studies have shown a significant role negative ions play in many cases (Massey, 1976).

Theoretical and experimental studies of the negative ions influence in the process of artificial Earth satellites flights were performed in 1960-70s (Grethcikhin, 2003). As a result, a strong frontal luminescence of artificial satellites, especially in the area of the Earth's shadow (Grethcikhin effect), was predicted and direct measurements were taken on board of the long-term space station "Salyut-4" at a flight altitude of 350 km (Grethcikhin, 2003). These measurements proved the theoretical prediction concerning the brightness of luminescence and the distribution of luminescence intensiveness around a flight vehicle.

The role of negative ions in voltage arcs and electrical sparks under atmospheric pressure and upon the effect of strong laser irradiation with a formation of a double electric layer was studied by Professor L.I. Grethcikhin and his co-workers (Grethcikhin, Tyunina, 1967), (Grethcikhin, Minko, 1967) and (Grethcikhin, 2008). These works show that the temperature of flares flowing out of cathode spots is determined by the process of the negative ions ionization and that occurring electrical currents of the double electrical layer compensation form the voltage arc plasma without electrical current flow.

At the present time, due to strengthening of construction materials and a reduction of friction forces with a use of nanotechnologies, a need for a detailed investigation of the plasma state formation arises again; this time, the studies are to be conducted in the vacuum high-current voltage arcs when negative ions are formed. The **objective** has been set

out: to conduct a detailed investigation of the negative ions formation process mainly in cathode flares taking into consideration the latest achievements in the field of nanotechnologies. To achieve this objective, it is necessary to solve the following issues:

- to consider the formation of negative ions in the process of electrons and atoms interaction taking into account the occurrence of integrated electric dipole moments in atoms and polarization of these moments;
- to clarify what interactions do determine the energies of electron affinity in diatomic molecules in consideration of the occurrence of integrated electric moments in the ions of the positive molecule core;
- to clarify what interactions do determine the energies of electron affinity in triatomic molecules in consideration of the occurrence of integrated electric moments in the ions of the positive core.

Let us consider the set tasks consistently.

Formation of Negative Ions in Complex Atomic Systems

It has been established so far in the works (Grethchikin, 2003), (Grethchikin, Shmermbekk, 2010) that, in complex atomic systems, a deformation of the spherically symmetric *s*-states occurs as a result of the *p-s*, *d-s* or *f-s* interactions of the electron shells. It leads to the creation of the integrated electric dipole moment relating to the complex atom center. Table 1 shows the performed calculations of the integrated electric moment for atoms and positive ions of carbon, oxygen, titanium and copper, taking into consideration Hund's rule.

Table 1 – Integrated electric moments for atoms and positive ions of carbon, oxygen, titanium and copper

Таблица 1 – Встроенные электрические моменты для атомов углерода, кислорода и титана

Tabela 1 – Ugrađeni električni momenti atoma ugljenika, kiseonika i titana

Element	Electric dipole moment, Cm x 10 ³⁰				
Carbon [8] $r_a = 0.904 \text{ \AA}$	$2p^1 - 2s^1$	$2p^1 - 2s^2$	$2p^2 - 2s^1$	$2p^2 - 2s^2$	$p_{e,C} = 3.935/3.089$ $p_{e,C}^+ = 1.976$
	5.830	-3.811	6.466	-4.490	
Oxygen $r_a = 0.672 \text{ \AA}$ [8]	$2p^1 - 2s^1$	$2p^1 - 2s^2$	$2p^2 - 2s^1$	$2p^2 - 2s^2$	$p_{e,O} = 2.891/2.705$ $p_{e,O}^+ = 2.755$
	9.375	-7.252	18.775	-17.985	
	$2p^3 - 2s^1$	$2p^3 - 2s^2$	$2p^4 - 2s^1$	$2p^4 - 2s^2$	
	8.684	-7.715	-8.491	7.495	

Titanium $r_a = 1.992 \text{ \AA}$ [9]	$3d^1 - 4s^1$ 5.506	$3d^1 - 4s^2$ -3.446	$3d^2 - 4s^1$ 5.544	$3d^2 - 4s^2$ -3.524	$p_{e,Ti} = 4.080$ 4.705 $p_{e,Ti}^+ = 2.020$ $p_{e,Ti}^+ = 10.946$	
Copper $r_a = 1.762$	$3d_1 - 4s$ 20.48 5 $3d_6 - 4s$ -7.981	$3d_2 - 4s$ - 18.034 $3d_7 - 4s$ 6.784	$3d_3 - 4s$ 14.926 $3d_8 - 4s$ -5.695	$3d_4 - 4s$ -12.225 $3d_9 - 4s$ 4.864	$3d_5 - 4s$ 9.904 $3d_{10} - 4s$ -4.196	$p_{e,result} Cu$ 8.831 10.132 $p_{e,result} Cu^+$ 0; 9,39;4,6 0

According to Hund's rule, the arrangement of electron spins for carbon, oxygen, and titanium is shown in Fig. 1 and for copper in Fig. 2.

For carbon and oxygen, the interaction of $2p$ -electrons with the $2s^1$ electron is taken with the sign "+" and with the $2s^2$ electron – with the sign "-" (Grethcikhin, 2008) and (Grethcikhin, Shmermbekk, 2010). In oxygen, the first deepest cell of the p -orbit contains two electrons with opposite spins. It leads to the instance when the second electron in the third cell has the opposite-by-sign interaction of the $2p^1$ -electrone in the first cell with the electrons in the $2s$ -state. The second, the third and the fourth electrons after releasing of the first cell take positions in accordance with Hund's rule, i.e. with the maximum values of the resultant spin. As for titanium, ionization leads to electron loss in the $4s$ or in $3d$ core. Both cases are shown in Fig. 1.

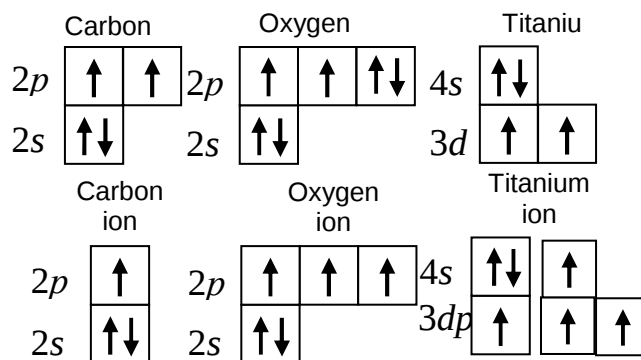


Figure 1 – Arrangement of spins of electrons in accordance with Hund's rule
 Фигура 1 – Расположение спинов электронов в соответствии с правилом Хунда
 Slika 1 – Raspored spina elektrona, u skladu sa pravilom Hunda

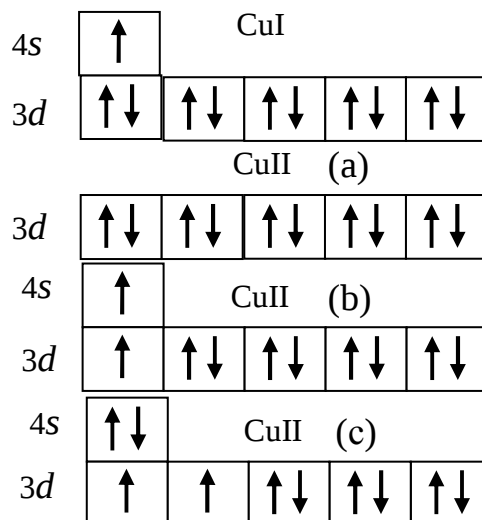


Figure 3 – Interaction of the additional electron with the integrated electric moment of a neutral atomic system

Фигура 3 – Взаимодействие дополнительного электрона со встроенным дипольным электрическим моментом нейтральной атомной системой

Slika 3 – Interakcija dodatnog elektrona sa ugrađenim dipolnim električnim momentom neutralnog atomskog sistema

The arrangement of electron spins for a neutral copper atom is shown in Fig. 2. In the process of copper atom ionization, it is possible to remove an electron from the 4s or 3d state. If an electron is removed from the 4s state and a rearrangement of other electron cores in the *d*-state does not occur, then the electrons in the *d*-state form a closed core and that is the reason why their internal interaction does not lead to additional deformation of electron states and, consequently, internal integrated electric moments do not occur. In such a condition, the integrated electric dipole moment of a single ion of an atom equals zero. If a significant deformation of the electron cores occurs in the 3d states and an ion of the copper atom tends to form a state characteristic for a nickel atom, then the conditions of electron spins shown in Figs. 2 b and c are possible. The calculated values of the integrated electric dipole moment in the states of Fig. 2 b and Fig. 2 c are given in Table 1. Most probable is the occurrence of the state shown in Fig. 2 a.

When an unbounded electron is caught by a neutral atom, there is no interaction with the positive atom nucleus as the atom nucleus is completely shielded by the electrons around the atom. Nevertheless, the electron caught by the atom polarizes the atomic system by its field and then an interaction occurs not with the effective nucleus charge but with the displaced cloud of all electrons of the neutral atom occurring as a result of polarization.

When there is an integrated electric moment, the outer unbounded electron interacts with the electrical dipole inside the atom (Fig. 3). In such a case, the atom can attach the electron and then can be transformed into a negative ion. The effect of the electrical field of this electron causes a displacement of the electron cloud of the neutral atom relating to its center of all energy states. If an external field is formed by the additional electron, the condition of forces equity for the valence electron of the atom in the k -state is as follows:

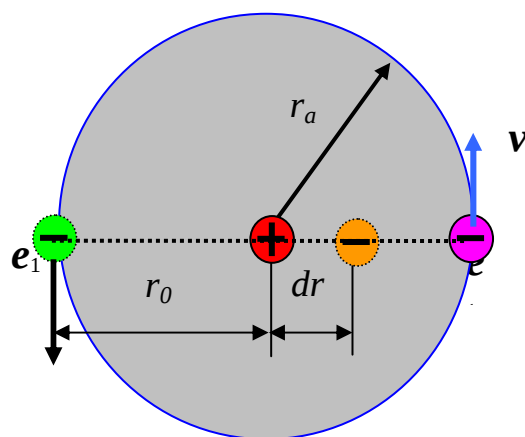


Figure 3 – Interaction of the additional electron with the integrated electric moment of a neutral atomic system

Фигура 3 – Взаимодействие дополнительного электрона со встроенным дипольным электрическим моментом нейтральной атомной системой

Slika 3 – Interakcija dodatnog elektrona sa ugrađenim dipolnim električnim momentom neutralnog atomskog sistema

$$\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_0^2} = \frac{Z_k^* e^2}{4\pi\epsilon_0 r_k^2} - \frac{Z_k^* e^2}{4\pi\epsilon_0 (r_k + \Delta r_k)^2} \quad (1)$$

where r_k – the rotation radius of the electron of the atom in the k -state, Z_k^* - the effective atom nucleus charge in the k -state for the electron under consideration, e – the charge, ϵ_0 - the dielectric permittivity constant and r_0 – the radius of the negative ion electron moving away from the atom center.

Hence, the displacement of the outer electron cloud of the k energy state relating to the atom center is

$$\Delta r_k \approx \frac{r_k^3}{2Z_k^* r_0^2} \quad (2)$$

The energy of the interaction of the outer electron with the integrated electric dipole of the atom taking into account the energy input for polarization is the electron affinity and it is as follows:

$$EA \cong -\frac{2ep_e}{4\pi\epsilon_0 r_0^2} + \sum_k \frac{Z_k^* e^2}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{1}{r_0} - \frac{1}{r_0 + \Delta r_k} \right] \quad (3)$$

where p_e – is the integrated electric dipole moment of the neutral atom. It is obvious that the interaction potential (3) will bear the minimum; otherwise, the system will not be stable. That is the reason why the electron affinity and the negative ion radius are determined by the minimum value of the interaction potential (3). The results of the interaction potential calculation for the atoms of carbon, oxygen and copper are given in Fig. 4a, while for titanium they are shown in Fig. 4b.

The energy of electron affinity can be measured with high accuracy, i.e. within the limits of 3%. That is why, when using the values of atom affinity to an electron, one can obtain real values of the integrated electric dipole moments of complex atomic systems and, at the same time, the negative ion radius.

The electron affinity for the carbon atom at the atom radius $r_a = 1.091$ Å, the valence ion electron moving away from the atom center $r_0 = 1.095$ Å and $p_e = 3.935 \cdot 10^{-30}$ Cm, calculated by equation (3) equals the experimental value – 1.263 eV. The radius of the carbon atom is slightly bigger than the value obtained by the quantum-mechanical method: 0.905 Å (Brattsev, 1966) and 0.922 (Radtsig, Smirnov, 1980). When the atom radius equals 0.905 Å, the experimental value of the electron affinity has the effect when the electron moves away from the atom center in the negative ion 1.02 Å and in the integrated electric dipole moment $p_e = 3.089 \cdot 10^{-30}$ Cm. The interaction potential for such a case is given in Fig. 4a.

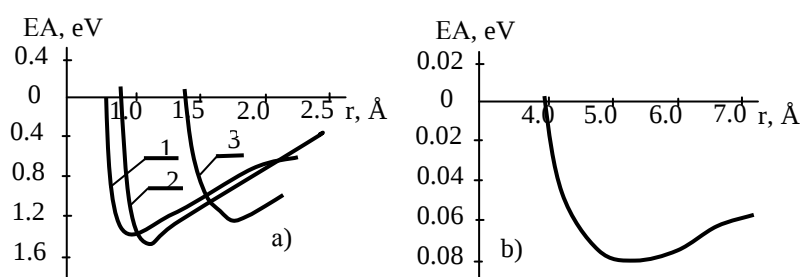


Figure 4 – Potential of interaction of the valence electron in the negative ion for: a) atom of carbon 1, atom of oxygen 2 and atom of copper 3; b) atom of titanium

Фигура 4 – Потенциал взаимодействия валентного электрона в отрицательном ионе а) для атома углерода 1, для атома кислорода 2 и для атома меди 3; б) для атома титана

Slika 4 – Potencijal interakcije valentnog elektrona u negativnom jonu a) za atome ugljenika 1, za atome kiseonika 2 i za atome bakra 3; b) za atome titanijuma

For the atom of oxygen with the value of the integrated electric dipole moment $p_{e,O} = 2.891 \cdot 10^{-30}$ Cm, the atom radius = 0.7073 Å and the negative ion radius $r_0 = 1.04$ Å, the affinity energy equals -1.4611 eV, which corresponds to the measured experimental value. The radius of the oxygen atom in the reference book (Radtsig, Smirnov, 1980) equals 0.655 Å, in the reference book (Brattsev, 1966) 0.672 Å, and in the reference book (Physical values: Reference Book, 1991) 0.74 Å. For the radius $r_a = 0.672$ Å, the experimental value of the electron affinity has an effect at $r_0 = 1.01$ Å and the electric dipole moment $p_e = 2.755 \cdot 10^{-30}$ Cm. The interaction potential of the valence electron of the negative ion of oxygen is shown in Fig. 4a.

The calculated value of the electric dipole moment for the copper atom is $p_e = 8.83 \cdot 10^{-30}$ Cm. When the atom radius equals 1.551 Å, the minimum of the potential curve corresponds to the experimental affinity value 1.23 eV if the electron moves away from the atom center – 2.01 Å. When the copper atom radius equals 1.762 Å (Radtsig, Smirnov, 1980), the experimental electron affinity value has an effect when the electron moves away from the atom center, 2.017 Å with the integrated electric dipole moment $p_e = 10.132 \cdot 10^{-30}$ Cm.

For titanium $p_e = 4.08 \cdot 10^{-30}$ eV and $r_a = 1.811$ Å on the basis of equation (3), we obtain $EA = 0.079$ eV at $r_0 = 5.37$ Å. Taking into consideration the fact that the calculation of the integrated dipole moment is not accurate enough, it is known that when measuring the value of the dipole moment one obtains the experimental value of electron affinity equal to the experimental value, at $r_a = 1.992$ Å (Radtsig, Smirnov, 1980), $r_0 = 5.55$ Å and $p_e = 4.702 \cdot 10^{-30}$ Cm. The interaction potential for the negative ion of titanium is given in Fig. 4b.

Therefore, the electron affinity energy for atoms is determined by the interaction of the outer electron with the integrated electrical moment of a complex atomic system as well as by the columbic interaction of the valence electrons of negative ions and electrons of the neutral atom of all energy states. Integrated electric dipole moments for one force center are calculated by the quantum-mechanical method using actual values of the electrons radiuses of the atomic system in different energy states, and then affinity energy is determined using classic electrodynamics. This is sufficient for a practical use of the obtained electron affinity values.

Electron Affinity of Diatomic Molecules

Electric dipole moments in diatomic molecules are oriented opposite to each other, as shown in Fig. 5. Bound energy in diatomic molecules is determined by the following interaction types: covalent, ionic, induced, electron-dipole and dipole-dipole (Grethcikhin, 2008).

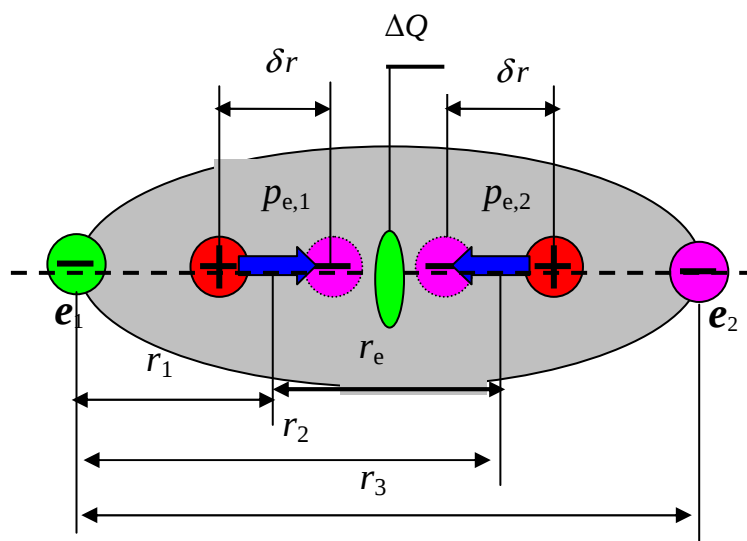


Figure 5 – General diagram of the valence electron interaction with the diatomic molecule in the negative ion

Фигура 5 – Общая схема взаимодействия валентного электрона с двухатомной молекулой в отрицательном ионе

Slika 5 – Opšta šema interakcije valentnog elektrona sa dvoatomskim molekulama u negativnom jonu

Particular values of all bound types for the molecules of carbon, oxygen, copper and titanium are given in Table 2. The internuclear distance was considered as a variational parameter and was determined based on a condition when the dissociation energy and the ionization energy of the diatomic molecule correspond to the test data. The internuclear distances obtained in such a way exceed the values obtained on the basis of the vibration spectrums of diatomic molecules relating to the common center of gravity^{*)}.

^{*)} The distance between atom nucleuses is determined by the interaction potential value and the distance between the electron clouds in the molecule - by the position of the interaction potential minimum.

Table 2 – Value of the atoms bound energies in diatomic molecules and the ionization potential of diatomic molecules

Таблица 2 – Величина энергий связи атомов в двухатомных молекулах и потенциал ионизации двухатомных молекул

Tabela 2 – Vrednost energije veza atoma u dvoatomskim molekulima i potencijal jonizacije dvoatomskih molekula

Molecule	Values of the various bound energies, eV						$r_e, \text{\AA}$	$\Delta Q/e$	θ_i, eV	$r_{e \text{ eff}}, \text{\AA}$
	$E_{\text{cov.}}$	E_{ion}	E_{induced}	E_{e-d}	E_{d-d}	E_{residual}				
O ₂	-4.45	- 0.744	- 0.194	0.06 0	0.20 8	- 5.12	1.60 0	$3.86 \cdot 10^{-3}$	12.0 8	1.51 6
C ₂	-5.44	-0.86	- 0.026	0.01 2	0.11 3	- 6.20	1.57 0	$1.0 \cdot 10^{-3}$	11.9	1.49 7
Ti ₂	- 0.918	- 0.069	- 1.151	0.55 5	0.38 3	- 1.20	3.27 6	$3.8 \cdot 10^{-2}$	6.30	3.61 0
Cu ₂	- 1.236	- 0.083	- 1.787	0.67 4	0.38 1	- 2.05	2.96 1	$4.3 \cdot 10^{-2}$	7.40	3.60 6

It follows from the composition of diatomic molecules (Fig. 5) that they can attach two electrons and become a double negative ion. The affinity energy for a single negative ion equals:

$$EA_{cp.} \cong -\frac{2ep_{e,1}}{4\pi\epsilon_0 r_1^2} + \frac{2ep_{e,2}}{4\pi\epsilon_0 r_2^2} + \frac{e\Delta Q}{4\pi\epsilon_0 r_m} + \sum_k \frac{Z_k^* e^2}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{1}{r_1 + r_n} - \frac{1}{r_1 + r_n + \Delta r_k} \right] \quad (4)$$

where $\Delta r_k = \frac{r_{\text{eff}}^3}{2Z_k^* r_1^2}$ and it determines the displacement of the valence

electron cloud in the molecule; Z_k^* - the effective molecule charge in the k -state; r_{eff} - the effective molecule radius; r_1 - the distance to the center of the nearest atom determined by the position of the interaction potential minimum; r_m - the distance to the molecule center, r_n - the additional distance to the following atom, equal to r_e ; $p_{e,1}$ and $p_{e,2}$ - the corresponding integrated electric dipole moments of ions of the interacting atoms; and ΔQ - the induced charge occurring as a result of the valence electrons interchange in covalent atoms bound in the diatomic molecule.

The sum of potential (4) considers the energy input for polarization of the valence electron cloud of the diatomic molecule and for the polarization of the electron cloud of the positive core atoms. The electron cloud of the positive core atoms is shielded by the common electron cloud of the molecule. That is why, when an electron penetrates to the distance shorter than a single ionization molecule radius, the energy

input for the polarization of the molecule core ions is considered. When the core polarization is taken into account, then the energies of the electron-dipole interaction bounds are not sufficient to penetrate deeper than the radius of the single ionization molecule ion.

In particular, the theoretical calculation of the electron affinity value as per (4) for the carbon molecule at the effective radius of interacting atoms of $0.905 \text{ \AA}$ (Radtsig, Smirnov, 1980) and at the electric dipole moment of a single atom ion of the molecule positive core $p_{e,i} = 1.976 \cdot 10^{-30} \text{ Cm}$ amounts to the experimental value of -3.39 eV (Physical Values: Reference Book, 1991) at the distance of moving away from the nearest atom $0.7643 \text{ \AA}$, at which the electron approaches the atom center in the diatomic molecule under the effect of electron-dipole interaction, and the distance to the atom center amounts to $1.4975 \text{ \AA}$, i.e. it is equal to the average effective radius of the molecule.

As for the oxygen molecule, the electron affinity amounts to 0.44 eV (Physical Values: Reference Book, 1991).

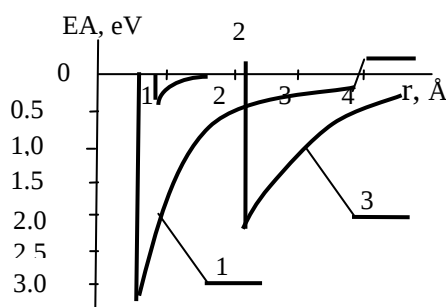


Figure 6 – Potential of the electron and molecule interaction: 1 - carbon, 2 – oxygen and 3 - titanium

Фигура 6 – Потенциал взаимодействия электрона с молекулой: 1 углерода; 2 – кислорода и 3 – титана

Slika 6 – Potencijal interakcije elektrona sa molekulom: 1. ugljenika; 2. kiseonika i 3. titanijuma

The electric dipole moment for the oxygen atom ion equals $2.755 \cdot 10^{-30} \text{ Cm}$ (Grethcikhin, Shmermbekk, 2010). When the effective radius of the oxygen molecule amounts to $1.615 \text{ \AA}$ and the distance of the electron moving away from the nearest atom is $0.964 \text{ \AA}$, a complete overlapping of the theoretically calculated electron affinity with the experimentally measured value is observed.

In the diatomic titanium molecule, the effective radius is $r_{eff} = 3.283 \text{ \AA}$ and the positive ion of the atom upon the electron absence in the $3d$ -state has the integrated electric dipole moment $p_e = 2.02 \cdot 10^{-30} \text{ Cm}$ (Table 1). The distance between the atoms in the molecule is $3.4635 \text{ \AA}$, the effective radius of the diatomic titanium molecule is $3.283 \text{ \AA}$, and the induced relative charge

is $\Delta Q / e = 0.0232$. In such conditions, the interaction of the electron with the molecule has positive energy and that is why it cannot be captured by the titanium molecule, i.e. the diatomic titanium molecule will not have electron affinity. If the electron detachment in the process of the titanium atom ionization occurs not from the state $3d$, but from the state $4s$, the dipole electric moment of the titanium atom ion will amount to $p_e = 10.946 \cdot 10^{-30}$ Cm, and the affinity energy will equal $EA = 2.115$ eV.

In the diatomic copper molecule, the positive ion of the molecule core does not have any electric dipole moment. Therefore, the electron affinity of the diatomic copper molecule equals zero.

The potential of the interaction of the electron with the neutral diatomic molecules of carbon, oxygen and titanium is given in Fig. 6.

Through the example of the diatomic molecules of carbon, oxygen and titanium, it is demonstrated that the electron affinity in diatomic molecules is mainly determined by the interaction of the outer valence electron of the negative ion with the integrated electric dipole moments of complex atoms, with induced negative charge between interacting atoms and with the electron cloud of the neutral atom and its core.

Electron Affinity of Triatomic Molecules

A triatomic molecule is formed as a result of an atom interaction with a diatomic molecule. During this process, the common electron shell forms all the three valence electrons of complex atoms. That is the reason why the positive core of the triatomic molecule contains single positive ions of the initial atoms. The integrated electric dipole moments of the single ions are arranged so as to maximally increase the energy of the atom bound with the diatomic molecule. The arrangement of the atom relating to the diatomic molecule in the triatomic molecule is given in Fig. 7.

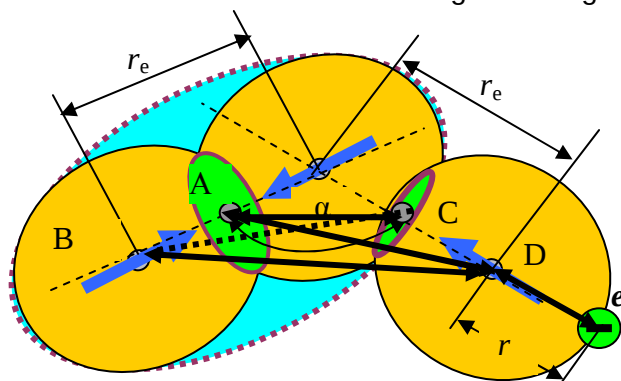


Figure 7 – General diagram of the negative ion of the unbounded triatomic molecule
 Фигура 7 – Общая схема отрицательного иона свободной трехатомной молекулы
 Slika 7 – Opšta šema negativnog jona slobodnog troatomskeg molekula

At the same time, the distance between the atoms is a few times bigger than the equilibrium distance between the atoms in the diatomic molecule due to the attraction of the nearest atom and the repulsion of the distant atom in the diatomic molecule. The nearest atom in the diatomic molecule is considered as the central one.

Moving away of the atoms from the central atom is nearly the same and is indicated in Fig. 7 by r_e . Other distances are connected with the distance r_e in the following way: the distances $BD = r_1 = 2r_e \sin(\alpha/2)$; $AD = BC = r_2 = r_e \sqrt{1,25 - \cos \alpha}$; $AC = r_3 = r_e \sin(\alpha/2)$.

The calculation of dissociation energies in consideration of the data from Table 2 and the input data for the atoms given in (Physical Values: Reference Book, 1991) is accomplished by the methods described in (Grethchikin, 2008) and demonstrated in Table 3.

Table 3 – Values energy of bounds of the various interaction types between the atom and the diatomic molecule

Таблица 3 – Значения: энергий связи разных типов взаимодействий между атомом и двухатомной молекулой

Tabela 3 – Vrednost: energije veza različitog tipa interakcije među atomom i dvoatomskim molekulom

Parameters	Chemical reactions			
	C + C ₂	O + O ₂	Ti + Ti ₂	Cu+Cu ₂
$r_e, \text{Å}$	1.570	1.552	3.276	2.961
E_{cov}, eV	-2.668	-0.856	-.918	1.553
$E_{ion.}, \text{eV}$	-0.862	-0.129	-0.066	-0.080
$E_{induced.}, \text{eV}$	-0.281	-0.176	-0.583	-0.832
$E_{e-d.}, \text{eV}$	-0.102	-0.066	0.488	0.544
$E_{d-d.}, \text{eV}$	-0.080	-0.055	0.280	0.279
E_{result}, eV	-4.00	-1.04	-0.98	-1.64
$\Delta q / e$	0.0101	0.00986	0.0387	0.0411
$P_e, \text{C} \cdot \text{m} 10^{30}$	1.976	2.755	10.95	9.39
θ_i, eV	12.69	12.52	8.76	10.51
$r_{eff.}, \text{Å}$	2.086	2.169	4.025	3.885

The triatomic molecule catches the electron to its outer orbit. The energy of the triatomic molecule affinity is determined by the interaction with the integrated dipole moments of all the three ions of the positive core and by its polarization. The distance of the caught electron from the molecule center does not exceed its effective radius. The electron affinity energy with the positive core of the triatomic molecule is mainly

determined by the interaction of the valence the electron has with the integrated electric dipole moment of the nearest ion. The distance at which the electron approaches the nearest ion of the atomic core does not exceed the radius of the triple ion of the molecule. According to Fig. 7, the resultant bound energy of the valence electron of the triatomic molecule negative ion equals

$$EA_1 = -E_1 + E_2 + E_3 + E_4 - E_5 + E_6, \quad (5)$$

$$\text{where } E_1 = \frac{2ep_s}{4\pi\epsilon_0 r^2}; E_2 = \frac{e\Delta Q}{4\pi\epsilon_0 (r + r_e/2)}; E_3 = \frac{e\Delta q}{4\pi\epsilon_0 (r + r_2)};$$

$$E_4 = \frac{2\cos(\pi - \alpha)ep_s}{4\pi\epsilon_0 (r + r_e)^2}; E_5 = \frac{2ep_s \cos\left(\frac{\pi - \alpha}{2}\right)}{4\pi\epsilon_0 (r + r_1)^2};$$

$$E_6 = \sum_k \frac{Z_k^* e^2}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r + r_2/2} - \frac{1}{r + r_2/2 + \Delta r_k} \right) \text{ и } \Delta r_k = \frac{r_{\text{эфф}}^3}{2Z_k^* (r + r_2/2)^2}.$$

When the triatomic molecule becomes the double-negative ion, the bound energy of the second electron weakens and can be determined by the equation

$$EA_2 = EA_1 + \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 3r_a}, \quad (6)$$

Particular calculations by equations (5) in consideration of the input data from Table 2 and Table 3 are given in Table 4. The appearance of the potential of the electron interaction with various triatomic molecules is given in Fig. 8.

Table 4 – Input data and the interaction energy of the electron affinity of various triatomic molecules

Таблица 4 – Исходные данные и энергия взаимодействия средства к электрону разных трехатомных молекул

Tabela 4 – Inicijalni podaci i energija interakcije

Parameters	Negative ions		
	C_3^-	O_3^-	Ti_3^-
$r_e, \text{\AA}$	1.523	1.552	3.276
$r_a, \text{\AA}$	0.905	0.672	3.610
$r_b, \text{\AA}$	1.497	1.516	1.992
$r_{\text{eff}}, \text{\AA}$	2.086	2.169	4.025
$r_0, \text{\AA}$	0.838	0.857	1.992
EA, eV	2.500	2.100	3.383

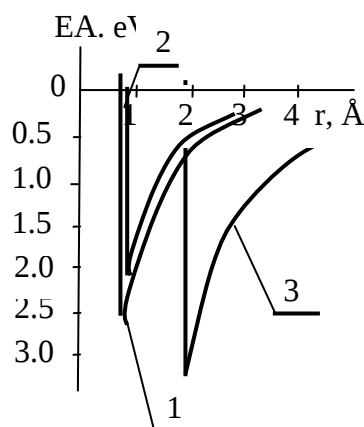


Figure 8 – Potential of the electron interaction with the triatomic molecule:
1 carbon, 2 oxygen and 3 titanium
Фигура 8 – Потенциал взаимодействия электрона с трехатомной молекулой:
1 – углерода; 2 – кислорода и 3 – титана
Slika 8 – Potencijal interakcije elektrona sa troatomskim molekulom:
1. ugljenika, 2. kiseonika i 3. titanijuma

It appears that the greatest value of the electron affinity is found in the triatomic molecules in the unbounded state.

Conclusions

As a result of the studies performed, the following was established:

1. In the process of the negative ion formation, one is to consider the outer electron interaction with the integrated electric dipole moments of separate atoms, the induced negative cloud in the contact area as well as with the valence electron of the initial neutral particle. For such interactions, it is not correct to perform quantum-mechanical calculations with a use of the Schrödinger equation.

2. In the process of the determination of the electron affinity to the atom, one is to consider the electron interactions with the integrated electric dipole moment of the neutral atom and the repulsion force of the neutral atom valence electrons and negative ions in accordance with Coulomb's law.

3. The electron affinity to the diatomic molecule is determined by the electron interaction with two integrated electric dipole moments of the atomic ion, the induced negative cloud at the border of atoms segregation in the molecule as well as by the columbic interaction of the valence electrons of the negative ion and the neutral molecule.

4. In the process of the electron capturing by the triatomic molecule, affinity energy is determined by the electron interaction with the integrated electric dipole moments of all the three ions forming the positive core of the molecule as well as by the columbic interaction of the outer electron with the electron cloud of the triatomic molecule and the induced charges.

Литература / Literature

Бабичев, А.П., Бабушкина, Н.А., Братковский, А.М., & и др, 1991. Физические величины: Справочник. Под ред. Григорьева, И.С. Мейлихова, Е.З., Москва: Энергоатомиздат., стр.1232. (Babichev, A.P., Babushkina, N.A., Bratkovskiy, A.M. et al, 1991. Physical quantities: Reference book. Edited by Grigoriev, I.S., Meilikhov, E.Z., Moscow, Energoatomizdat, p.1232).

Братцев, В.Ф., 1966. Таблицы атомных волновых функций. Изд. «Наука», стр.192. (Brattsev, V. F., 1966. Tables of atomic wave functions, p.192) .

Гречихин, Л.И. 2003. Взаимодействие твердого тела с окружающей средой в околоземном космическом пространстве (Эффект Гречихина)/ Первый Белорусский космический конгресс, Минск: ИПИ НАНБ., стр.31. (Gretchikhin, L. I. 2003. Interaction of a solid with surroundings in circumterrestrial outer space (Gretchikhin effect). .In: The First Belarusian Space Congress, Minsk, October 28-30, p.31).

Гречихин, Л.И., Тюнина, Е.С. 1967. Исследования электродных факелов дугового разряда. *Журнал «Физика и химия обработки материалов»*, 11(3), стр.27-28. (Gretchikhin, L.I., Tyunina, E.S. 1967. Studies on electrode flares of arc discharge. Physics and chemistry of materials processing, 11(3). pp.27-28).

Гречихин, Л.И., Минько, Л.Я. 1967. Об аналогии физических процессов, протекающих в импульсном разряде и при воздействии концентрированного лазерного излучения, *ЖТФ*, 37. (Gretchikhin, L.I., Minko, L.Y. 1967. About the analogy of physical processes taking place in impulse discharge and when exposed to concentrated laser radiation, Technical Physics, 37).

Гречихин, Л. 2008. Наночастицы и нанотехнологии, *Право и экономика*, стр.406. (Gretchikhin, L.I. 2008. Nanoparticles and nanotechnologies, Pravo i ekonomika, p.406).

Гречихин, Л.И., Шмермбекк, Ю. 2010. Наноуровень обоснования ОКГ конденсированных сред, *Право и экономика*, стр.75. (Gretchikhin, L.I., Shmermbekk, Y. 2010. The nanolevel of substantiation of the optical quantum generator of condensed matters. Pravo i ekonomika, p.75).

Johnson, C.J., Heppner, J.P. 1956. Daytime measurement of positive and negative ion composition to 131 km Rocket-borne/Дневное измерение состава положительных и отрицательных ионов бортовыми спектрометрами на расстоянии до 131 км. *J. Geophys. Res.*, 61(3), p.575.

Massey, H. 1976. *Negative ions/Отрицательные ионы*. Cambridge: Cambridge University Press., p.753.

Радциг, А.А., Смирнов, Б.М. 1980. *Справочник по атомной и молекулярной физике/Reference book on atomic and molecular physics*. Москва: Атомиздат., стр.240. (Radtsig, A.A., Smirnov, B.M. 1980. Reference book on atomic and molecular physics. Moscow: Atomizdat, p.240).

ОТРИЦАТЕЛЬНЫЕ ИОНЫ АТОМОВ, ДВУХАТОМНЫХ И ТРЕХАТОМНЫХ МОЛЕКУЛ

Леонид И. Гречихин^a, Виктория М. Комаровская^b

^a Белорусская государственная академия связи, г. Минск, Республика Беларусь,

^b Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь,

ОБЛАСТЬ: материалы, нанотехнология, структура и свойства отрицательных ионов

ВИД СТАТЬИ: оригинальная научная статья

ЯЗЫК СТАТЬИ: английский

Краткое содержание:

Сродство к электрону не определяется путем решения уравнения Шредингера, а определяется большой совокупностью разных типов взаимодействий. В атомах основной вклад в сродство к электрону вносит связь между внешним электроном и встроенным дипольным электрическим моментом нейтрального атома. В двухатомных молекулах энергию сродства преимущественно определяет взаимодействие внешнего электрона со встроенным дипольным электрическим моментом ближайшего иона. В трехатомной молекуле внешний электрон взаимодействует со всеми встроенными дипольными моментами положительного остова.

Ключевые слова: дипольный момент, отрицательный ион, атом, двухатомная молекула, трехатомная молекула.

NEGATIVNI JONI ATOMA, DVOATOMSKIH I TROATOMSKIH MOLEKULA

Leonid I. Grečihin^a, Viktorija M. Komarovskaja^b

^a Beloruska državna akademija saobraćaja i veza, Minsk, Republika Belorusija

^b Beloruski nacionalni tehnički univerzitet, Minsk, Republika Belorusija

OBLAST: materijali, nanotehnologije, struktura i karakteristike negativnih jona

VRSTA ČLANKA: originalni naučni članak

JEZIK ČLANKA: engleski

Sažetak:

Afinitet prema elektronu ne određuje se putem rešenja Šredinge-rove jednačine, nego uz pomoć velikih skupova različitih tipova kova-lentnih veza.

Najveći doprinos za afinitet prema elektronima imaju veze između spoljašnjih elektrona i ugrađenih dipolnih električnih momenata neutralnog atoma.

U dvoatomskim molekulima energija afiniteta se primarno određuje interakcijom spoljašnjeg elektrona sa ugrađenim dipolnim električnim momentom najbližeg jona.

U troatomskom molekulu spoljašnji elektron stupa u kovalentnu vezu sa svim ugrađenim dipolnim momentima valentnih ljuski atoma.

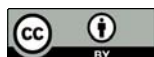
Ključne reči: dipolni momenat, negativni jon, atom, dvoatomski molekul, troatomski molekul.

Paper received on / Дата получения работы / Datum prijema članka: 07. 12. 2015.
 Manuscript corrections submitted on / Дата получения исправленной версии работы / Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 05. 01. 2016.
 Paper accepted for publishing on / Дата окончательного согласования работы / Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 07. 01. 2016.

© 2016 The Authors. Published by Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (www.vtg.mod.gov.rs, втр.мо.унр.срб). This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2016 Авторы. Опубликовано в "Военно-технический вестник / Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier" (www.vtg.mod.gov.rs, втр.мо.унр.срб). Данная статья в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией "Creative Commons" (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2016 Autori. Objavio Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (www.vtg.mod.gov.rs, втр.мо.унр.срб). Ovo je članak otvorenog pristupa i distribuira se u skladu sa Creative Commons licencom (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).



RESEARCH INTO THE CAUSES OF INCREASED VIBRATION LEVELS ON THE DIESEL-ELECTRIC GENERATORS SET AT THE AIR TRAFFIC CONTROL-BELGRADE AIRPORT

Nikola P. Žegarac

Serbian Academy of inventors and scientists, Belgrade, Republic of Serbia
e-mail: zegaracnikola@vektor.net

ORCID iD:  <http://orcid.org/0000-0002-1766-8184>

DOI: 10.5937/vojtehg64-9455

FIELD: Machine Engineering, Electrical Engineerin

ARTICLE TYPE: Original Scientific Paper

ARTICLE LANGUAGE: English

Summary:

The paper presents the research into the causes of increased vibration levels on the diesel-electric generators at the Air Traffic Control-Belgrade Airport. The types of diesel generating sets are of the 175 KVA No-Break type (no interruption in electricity supply). Diesel generators serve as a backup power source (duplex system) in case of interruption in the regular electricity supply from the city grid for the systems and devices of the Air Traffic Control at Belgrade Airport. One diesel generator is in continuous operation, while the second diesel engine serves as a backup power system. The determined vibrodiagnostic methods for evaluating the technical functioning of diesel generators are an integral part of the documentation for the maintenance and overhaul of the No-Break diesel-generating set.

Key words: *diesel-generator sets, measurement and analysis of vibrations, vibration levels, vibrodiagnostics, vibration parameters, technical functioning of diesel generators .*

Introduction

During operation of the diesel generating set type No-Break power 175 KVA, the Air Traffic Control at Belgrade airport there was a problem of increased vibration levels at certain places aggregates. Diesel generators function as a reserve power source.

The working principle of No-Break diesel generators is such as to enable supply of all equipment and flight control systems without interruption in the power supply in case of disruption in the normal power supply from the city network.

This means that all customers are still supplied with electricity from the generator diesel generating set, which is powered by an electric motor which is in the generating system drive. Devices and flight control systems must not remain any moment without power because in that case was marred by a system of air traffic control and air navigation safety.

In the event of an interruption in the power supply from the mains immediately starts using flywheel diesel generators, where there is electromagnetic coupling. This part of the system is always in constant rotation, along with an electric motor, an elastic tie rods and a generator generating set. Only a system is shown in Figure 1.

The applied methods are vibrodiagnostics reviews roadworthiness diesel generators set. Measurement and analysis of vibration on diesel-electric generators is administered with other users on all civilian and military airports in the territory of Serbia and Montenegro, and the diesel engines used in special-purpose facilities.

Description of the plant and measuring point on diesel-electric generating sets type no-break, power 175 KVA

In Figure 1, shows a schematic plant and measuring points on diesel generating sets type No-Break power 175 KVA (Žegarac, 1999), (Žegarac, 2000). Arrangements of electric generators: diesel motor, flywheel, electric motor and generator are mounted on a common frame (chassis) of aggregates, which is located below 12 pieces vibroizolators

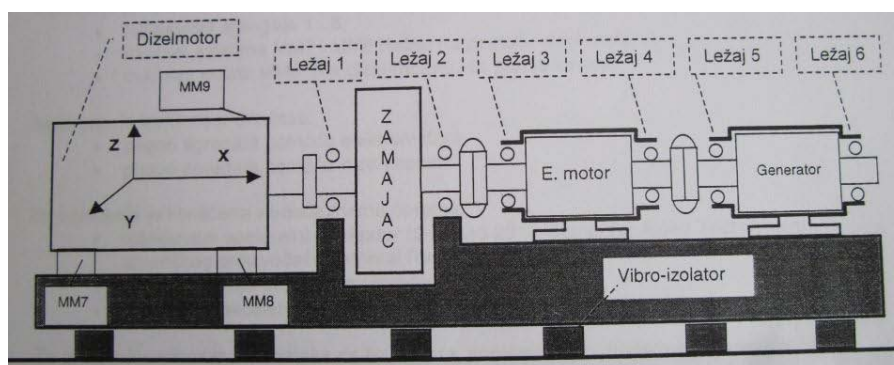


Figure 1 – Generating assembly scheme and the measuring points on the No-Break diesel-generating set

Рис. 1 – Схема электростанции и расположение вибродатчиков на дизельной электростанции типа No-Break, с мощностью 175 кВА

Slika 1 – Šema postrojenja i merna mesta na dizel-elektroagregatu tipa No-Break snage 175 KVA

Basic information about the diesel engine:

- Manufacturer MAN Germany, Nürnberg, 6-cylinder in-line, water-cooled engine,

- Type D2156 MTL
- Br. 501935 drive I / O
- Year in 1974.
- Engine power 204 PS
- RPM 1500 (o / min)

Basic data on electric motor:

- Manufacturer AEG Germany
- Type A5 315 S4
- Number of el. Engine 30 073.01-1
- Power 160 KW
- RPM 1500 (o / min),

Basic information about the generator:

- Manufacturer AEG Germany
- Type DKBH 284/04
- Number generator 73-464067
- excitation current 50 V, 2.8 A
- Power 170 KVA,
- Nuber of revolutions 1500 / min
- Other features 3 ~, $\cos = 0.8$, Y 400 V, 253 A

Research methodology

The studies were conducted at 2 diesel-electric generators of the same type, the drive mode with electromotor- first case when there is a regular supply from the city network and the second case, diesel-powered engine when there is no regular supply of electricity from the city network. Measurement results and analysis are presented graphically and in tabular form. Applied Research Methodology is the same on both diesel generating set. The study was conducted based on the measurement of linear vibration: -bearings aggregates measuring point 1 6 - dimensional places MM 7 and 9 (points on the base of diesel generators), MM-dimensional areas 8 and 10 MM (point on the upper side of the diesel engine). Research was conducted in three phases: aggregate by an electric actuator, measuring at working revs (1500 o / min), actuator aggregates using diesel engines, measuring at working revs (1500 o / min) -monitoring behavior first generator in during his STARTING, to achieve a working speed in diesel engines.

For testing we used the following measuring equipment: -multi channel analyzer-Gen Rad 2512 Computer Aided Test System, the American manufacturer General Dynamics Radio Spectrum, amplifier-dimensional Danish manufacturer Brüel & Kjær, -triaxial accelerometer (vibration sensor), Brüel & Kjær, -optical speed sensors German manufacturer Hottinger Baldwin Messtechnik, -measuring amplifier for speed sensors, the manufacturer TRCpro - Novi Sad,

For the analysis and evaluation of data at the point of measurement, were used the following diagnostic methods: Analysis of RMS value (root mean square) speeds in all three coordinate directions, x, y, z score sheet on the basis that according to the recommendations of Standard ISO 2372. Analysis of Crest -factor to assess the current state of the bearing unit. Spectrum analysis and harmonic analysis with the aim of diagnostics in low frequency domain. Analysis vibration rotor system in the unsteady state (empty promises or stopping), the generating I, (Ličen, 2003).

"Spin"- measurement of vibrations on the bearings was conducted in the frequency range from 0512 Hz. Measurement of vibration during the start of the generating I, was carried out in the range of 0 1000 Hz.

Measurement and analysis of vibrations to electricity generators and the electric drive mode

The ways in which we can describe, and therefore vibrations and assess their impact on the mechanical construction:

- In the time domain,
- In the frequency domain, the frequency spectrum,
- Statistical indicators (scalar quantities).

Only vibration in the time domain may be from the standpoint of their, but other than that does not provide "impalpable" visualization, any other benefits. Therefore, the image vibration signal in the frequency domain, through various forms of frequency spectra much more comfortable.

RMS value is particularly interesting because it has a dimension of energy and talks about the energy content of the signal. Therefore, most of the standards that have allowed defined vibration levels linked to the RMS value as authoritative for the quantification of the vibration (Standard ISO 2370, Standard ISO 10816).

Recommendations for vibration in accordance with ISO 2372, ISO 10816, are given in Figure 2 and 3.

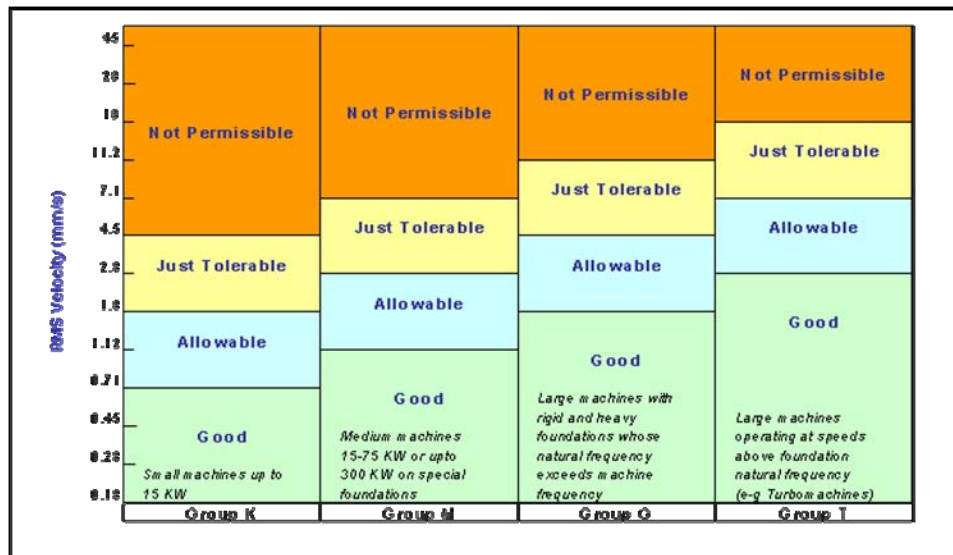


Figure 2 – ISO 2372 standard recommendations for vibrations
 Рус. 2 – Рекомендуемые значения вибраций, согласно стандартам ISO 2372
 Slika 2 – Preporuke za vibracije po standardu ISO 2372

VIBRATION SEVERITY PER ISO 10816						
Machine			Class I small machines	Class II medium machines	Class III large rigid foundation	Class IV large soft foundation
	in/s	mm/s				
Vibration Velocity Vrms	0.01	0.28				
	0.02	0.45				
	0.03	0.71		good		
	0.04	1.12				
	0.07	1.80				
	0.11	2.80		satisfactory		
	0.18	4.50				
	0.28	7.10		unsatisfactory		
	0.44	11.2				
	0.70	18.0				
	0.71	28.0		unacceptable		
	1.10	45.0				

Figure 3 – ISO 10816 standard recommendations for vibrations
 Рус. 3 – Рекомендуемые значения вибраций, согласно стандартам ISO 10816
 Slika 3 – Preporuke za vibracije po standardu ISO 10816

In the assessment of bearing condition, using a scalar indicator is used the most so. CREST factor in the limited time block, defined as the ratio of peak (Eng. Peak) value of the signal and its RMS value. The bed is usually not present only one type of failure, but a combination of several kinds of dismissal, as well as their number, the display is shown in Figure 4.

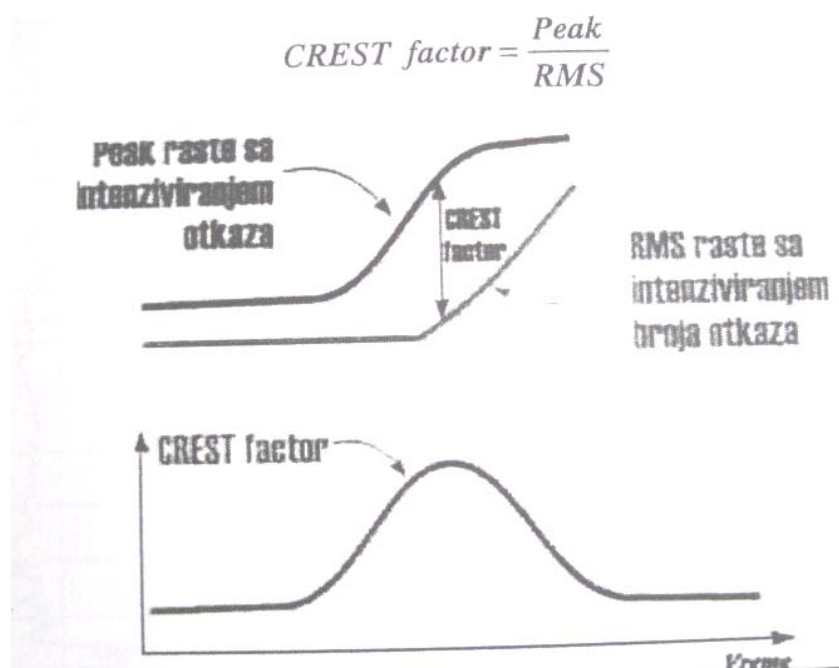


Figure 4 – Change of the CREST factor during the bearing life
 Рус. 4 – Изменения амплитудного фактора рабочего подшипника
 Slika 4 – Promena CREST faktora u toku radnog veka ležaja

The results of vibration measurements on electric generating set I, in an electric motor drive, are given in Table I, in a diesel engine facility in Table II.

The first power unit: electromotor power

Table 1 – Measurement results for case 1: aggregate I, electromotor power

Таблица 1 – Результаты измерения первого анализируемого случая: I электростанция с приводом от электродвигателя

Tabela 1 – Rezultati merenja za prvi analizirani slučaj: I agregat, pogon elektromotorom

VIBRACIONO STANJE AGREGATA										Tabela I
Datum ispitivanja: 13.01.1999 god.			Postrojenje: DIZELAGREGAT "SURČIN"						Pogon: sa elektromotorom Br. obrtaja: 1500 o/min	
LEŽAJ Br.	Ukupna RMS vrednost brzine[mm/s]		CREST faktor	HARMONICI [mm/s]						STANJE po ISO 2372
				I	II	III	IV	V	VI	
L 1	X	0.867	2.77	0.668	0.199	-	-	-	-	DOZVO- LJENO
	Y	1.473	4.21	0.654	0.819	-	-	-	-	
	Z	0.797	4.24	0.322	0.475	-	-	-	-	
L 2	X	0.939	3.02	0.09	0.849	-	-	-	-	DOZVO- LJENO
	Y	4.258	3.68	2.155	2.103	-	-	-	-	
	Z	2.187	3.83	1.137	1.05	-	-	-	-	
L 3	X	0.231	2.40	0.163	0.068	-	-	-	-	DOZVO- LJENO
	Y	1.776	3.58	1.193	0.583	-	-	-	-	
	Z	3.917	2.35	0.877	3.04	-	-	-	-	
L 4	X	0.225	3.00	0.157	0.068	-	-	-	-	DOZVO- LJENO
	Y	1.943	3.88	0.883	1.06	-	-	-	-	
	Z	0.861	3.13	0.295	0.566	-	-	-	-	
L 5	X	0.447	4.38	0.07	0.377	-	-	-	-	DOZVO- LJENO
	Y	5.353	2.95	1.307	4.046	-	-	-	-	
	Z	4.467	4.59	1.506	2.961	-	-	-	-	
L 6	X	0.414	3.53	0.058	0.356	-	-	-	-	DOZVO- LJENO
	Y	6.27	4.91	3.28	2.99	-	-	-	-	
	Z	3.089	4.31	2.306	0.783	-	-	-	-	

RMS level of speed shows that the behavior of aggregate to ISO 2372 guidelines for all beds aggregates within acceptable limits. Also, it can be concluded on the basis of Crest factors, which lies in the range of 2 ... 4, which is considered good for the behavior of the bearing Analysis Crest factors do not suggest that either of the beds significantly damaged.

Harmonics analysis can be concluded that the energy contained mainly in the first and the second harmonic (in the case of electric drives), which leads to imbalance.

Semi harmonics higher harmonics are not present a measurable, so that it can consider that the geometry (Alignment) system is relatively good.

Measurement and analysis of vibrations in the drive mode diesel-generating set I

The first unit: Drive diesel engine

Table 2 – Measurement results for case 2: aggregate I, diesel engine power

Таблица 2 – Результаты измерения второго анализируемого случая:

I электростанция с приводом от дизельного двигателя

Tabela 2 – Rezultati merenja za drugi analizirani slučaj I agregat, pogon dizel motorom

VIBRACIONO STANJE AGREGATA									Tabela II	
Datum ispitivanja: 13.01.1999 god.			Postrojenje: DIZELAGREGAT "SURČIN"						Pogon: sa dizel-motorom Br. obrtaja: 1500 o/min	
LEŽAJ Br.	Ukupna RMS vrednost brzine(mm/s)	CREST faktor	HARMONICI [mm/s]						STANJE po ISO 2372	
			I	II	III	IV	V	VI		
L 1	X	2.89	3.32	0.69	1.20	0.17	0.11	0.18	0.54	DOZVO- LJENO
	Y	3.26	2.40	1.02	1.08	0.23	0.23	0.28	0.42	
	Z	1.32	3.92	0.17	0.30	0.04	0.03	0.64	0.14	
L 2	X	2.11	1.84	0.78	0.93	0.19	0.09	0.07	0.05	DOZVO- LJENO
	Y	3.74	2.94	1.93	0.95	0.32	0.11	0.21	0.22	
	Z	1.55	2.10	0.31	0.62	0.18	0.07	0.21	0.16	
L 3	X	3.25	2.51	1.60	0.94	0.18	0.16	0.22	0.15	DOZVO- LJENO
	Y	3.56	3.45	0.39	0.85	0.32	0.78	0.34	0.88	
	Z	3.11	3.49	0.76	1.85	0.14	0.07	0.15	0.14	
L 4	X	3.12	2.35	1.60	0.85	0.17	0.17	0.21	0.12	DOZVO- LJENO
	Y	4.21	3.50	0.12	0.35	1.14	1.84	0.17	0.59	
	Z	2.71	2.09	0.87	0.60	0.58	0.39	0.17	0.10	
L 5	X	4.81	1.95	1.62	2.24	0.25	0.06	0.37	0.27	DOZVO- LJENO
	Y	5.66	2.53	1.00	0.62	1.46	1.46	0.43	0.69	
	Z	4.41	3.25	1.07	1.70	0.53	0.65	0.33	0.13	
L 6	X	4.82	2.13	1.80	1.97	0.20	0.13	0.47	0.25	DOZVO- LJENO
	Y	3.71	4.14	0.61	0.71	0.50	1.23	0.28	0.38	
	Z	4.44	2.64	2.10	1.04	0.11	0.57	0.19	0.43	
MM7	X	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Y	5.56	3.35	1.13	0.73	2.84	0.21	0.28	0.37	
	Z	-	-	-	-	1.90	-	-	-	
MM8	X	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Y	9.06	4.26	0.72	1.96	1.97	0.60	0.63	3.18	
	Z	-	-	-	-	-	-	-	-	
MM9	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Y	-	-	-	-	9.26	-	-	-	
	Z	-	-	-	-	-	-	-	-	

In the drive with a diesel engine, there is a strong increase in even harmonics (II, IV, VI), which is associated with the excitation of the ignition stroke at 6-cylinder, four-stroke engine. Nevertheless vibration levels lie relatively low, but some service or replacement parts on aggregate at this stage is not necessary.

It is obvious that when operating the generating set is in standby drive with a diesel engine, vibratory situation differently, and that the initiative even harmonics causes slightly increased vibration.

The analysis of radial deformation in the Y-Z level in all aggregate bearings L1L6.

Due to the volume of research in this paper it is shown only for bed L1 and L2, a general assessment of the technical condition of the entire generating set and displayed through the final note.

Condition on the bearing L1: Energy radial movement of the first bearing is the most concentrated within the first harmonic. The which phase shift between the signals is close to the corner of 90 indicates the combination of a mild imbalance and other disorders of the first order. There is an element that was because of its location close to the fourth harmonic, and as such is likely induced by diesel engines. The first two harmonics of vibration in the Y direction are significantly higher than the corresponding ones of the Z-direction, which is logical in view to the elasticity of the system is higher in the Y-direction, which enables a large amplitude of vibration, the display on Figure 5.

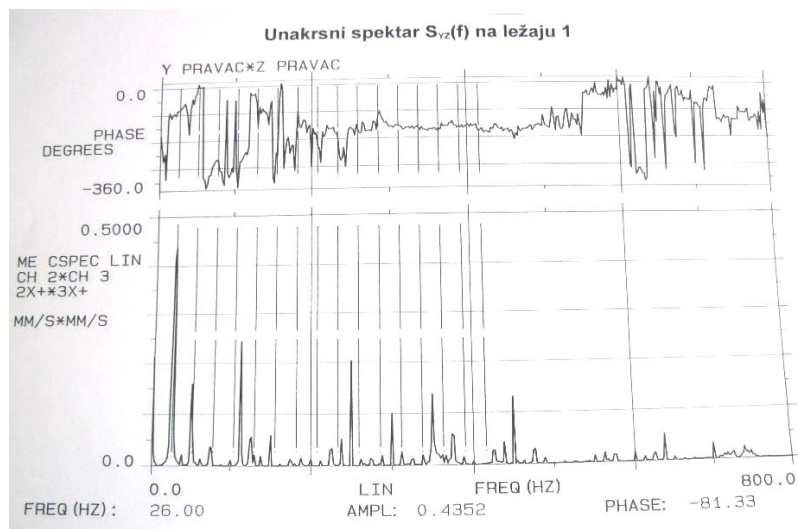


Figure 5 – Syz(f) Cross spectrum on bearing L1
Рис. 5 – Взаимный спектр Syz(f) на подшипнике L1
Slika 5 – Unakrsni spektr Syz(f) na ležaju L1

Condition on the bearing L2: In the cross spectrum Syz, bearing L2 fall "in" eyes, frequency components around zero frequency (i.e DC component). DC component is significantly more pronounced in the Y direction than in the Z direction which indicates its origin: vibroisolators are much "softer" in the Y direction than in the Z direction which creates a slow pace so move. Swimming-rolling (rolling) system along the X-direction. This

shift can be significant in relation to the vibration of the bed, but do not affect its status (high DC component does not damage the bearing).

Other frequency components by an amount similar to the amplitude condition as the previous bearing, the phase shift is slightly different, the first radial harmonic vibrations in Y and Z direction are very close to the stage, is associated with the excitation of the diesel engine, see Figure 6

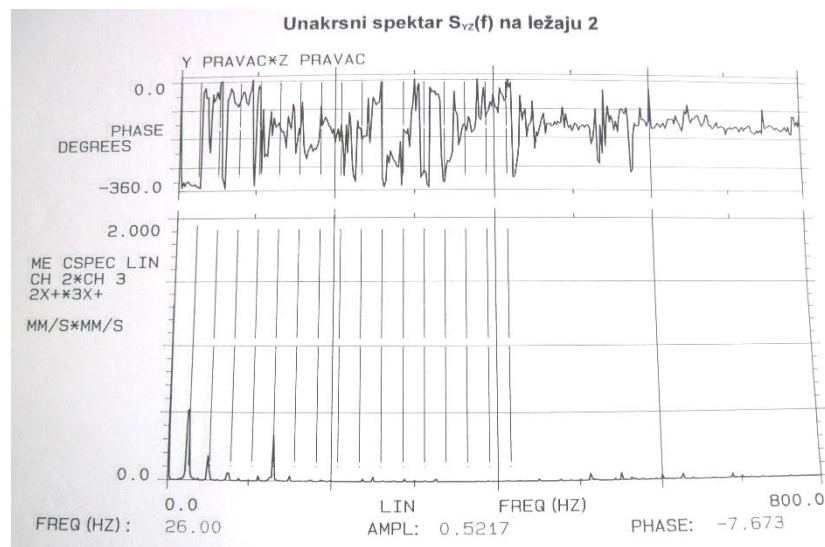


Figure 6 – $S_{yz}(f)$ Cross spectrum on bearing L2
 Рус. 6 – Взаимный спектр $S_{yz}(f)$ на подшипнике L2
 Slika 6 – Unakrsni spektar $S_{yz}(f)$ na ležaju L2

Measurement and analysis of vibration during start-up and operation of a diesel engine

In plants from the standpoint of the vibrating "passport" order to obtain sheet were measured at the aggregate of vibrations in the STARTING-powered diesel engine. The measurement was carried out by the analyzer GenRad 2515 and SPIN software package. The method consists in the fact that continually during STARTING (or stopping) measures the vibrations to defend bearings, while the number of revolutions.

In addition, the program for a given speed change (for example, 20 r / min), shall record the vibrations of the same frequency spectra account, so-called "look up".

These spectra are shown in three-dimensional form (spectral maps) or in the form of Campbell's diagram. These presentations provide insight into the forced frequency (rows) and their own interest-frequency system, as well as the resonance phenomenon, or critical speeds, from "order

tracking " In addition, it is possible to follow the lines where it is possible to identify the resonances that are excited harmonics.

The measurement was carried out on a bed L2 (Z and Y direction), as well as on the bearing L5 (Y-direction). Only spectral maps, auto spectrum for bed L2, LAS is given in Figure 7, but for bed L5, SYY in Figure 8 and Campbell's diagram of the FFT, SYY, for bearings L2, in Figure 9.

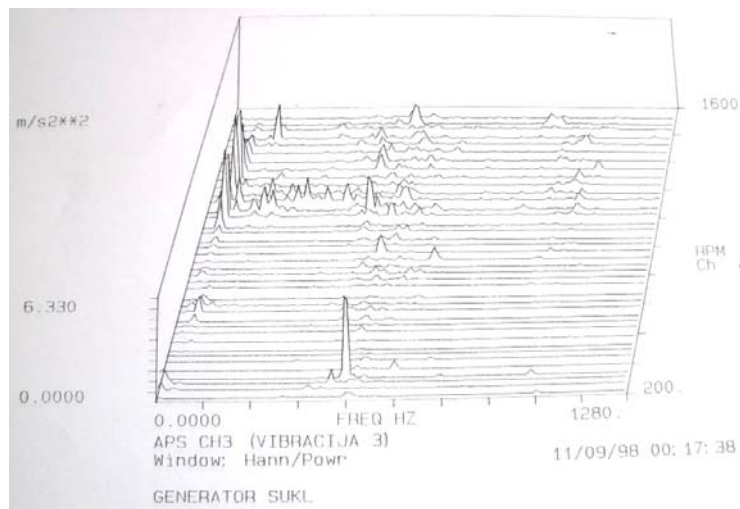


Figure 7 – Spectral map, Szz autospectrum, bearing L2

Рис. 7 – Спектральная карта, Szz авто-спектр, подшипник L2

Slika 7 – Spektralna mapa, autospektar Szz, ležaj L2

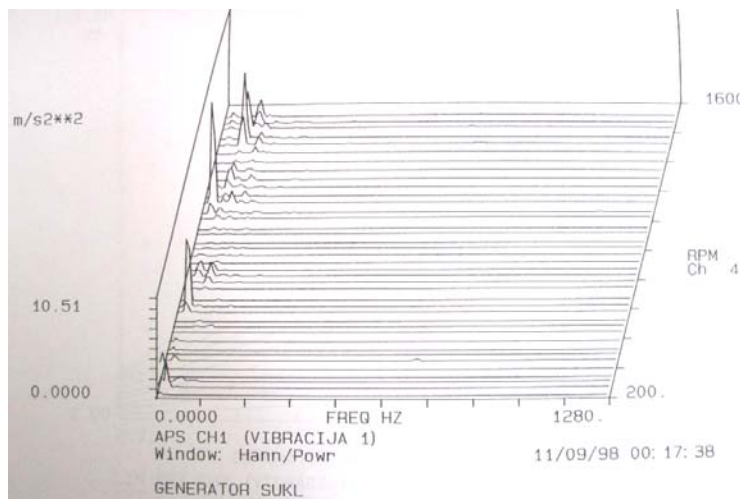


Figure 8 – Spectral map, Syy autospectrum, bearing L5

Рис. 8 – Спектральная карта, Syy авто-спектр, подшипник L5

Slika 8 – Spektralna mapa, autospektar Syy, ležaj L5

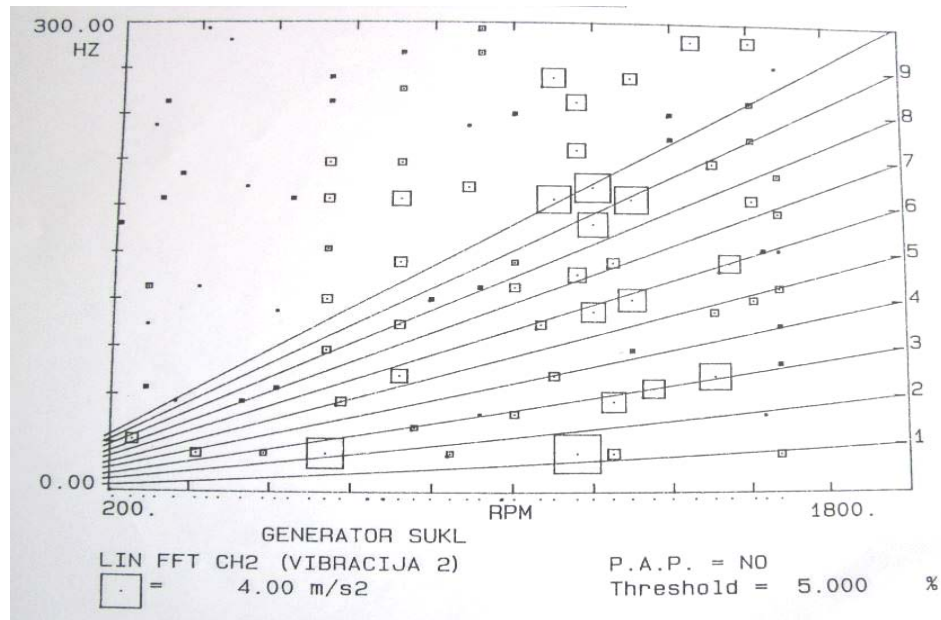


Figure 9 – Campbell diagram, FFT, Syy, bearing L2
 Рус. 9 – Диаграмма Кэмпбелла, FFT, Суу, подшипник L2
 Slika 9 – Campbell-ov dijagram, FFT, Syy, ležaj L2

From the diagram it can be observed the following.

1. It can be seen several natural frequencies:
 - from 2 3 Hz, elastic suspension of the entire plant,
 - ca 180 Hz, elasticity support structure,
 - ca 500 Hz, elasticity support structure.
2. In the field of high frequency (over 500 Hz), you can not see any component that initiated the wear of the bearing.
3. The spectral map to bed L2, it is clearly of one spectral component of about 500 Hz, at a very low RPM, which is not relevant to the work unit.

Conclusion of the technical state of diesel generating set I

Based on tests conducted vibration state of the diesel engine, it can be concluded the following: -state aggregates can be characterized as GOOD, Vibration (although male) are characterized by: imbalance that is virtually always present to some extent, second and fourth harmonic, during the operation of a diesel engine.

The unit can be used in operational work. Given the long life is necessary to the exploitation of aggregates every 12 months to exert control technical condition of the unit.

Measurement and analysis of vibrations in regime drive electric motor-generating set II

After a certain time (every 12 months, so we specify measurement intervals) was performed vibrodiagnostics and electromotor II, and to determine the technical soundness and the need for repair of aggregates.

The second unit: electric drive

Table 3 – Measurement results for case 2:
aggregate II, electromotor power

Таблица 3 – Результаты измерения второго анализируемого случая:

II электростанция с приводом от электродвигателя

Tabela 3 – Rezultati merenja za drugi analizirani slučaj:

II agregat, pogon elektromotorom

VIBRACIONO STANJE AGREGATA								Tabela II		
Datum ispitivanja: 8.02.1999 god.			Postrojenje: El.Agregat No-Brake, II, SURČIN					Pogon: elektromotorom Br. obrtaja: 1500 o/min		
LEŽAJ Br.	Ukupna RMS vrednost brzine[mm/s]	CREST faktor	HARMONICI [mm/s]						STANJE po ISO 2372	
			I	II	III	IV	V	VI		
L 1	X	3.597	3.58	0.891	1.309	0.615	0.316	0.324	0.142	TOLERA- NTNO
	Y	5.371	4.13	1.557	1.997	0.640	0.761	0.356	0.06	
	Z	3.366	3.37	1.339	0.741	0.800	0.175	0.069	0.242	
L 2	X	4.053	3.50	1.691	1.322	0.509	0.242	0.129	0.16	TOLERA- NTNO
	Y	6.97	3.90	2.695	2.115	0.431	1.010	0.600	0.119	
	Z	5.214	2.03	2.594	0.941	0.448	0.560	0.473	0.198	
L 3	X	11.892	4.32	6.165	4.317	0.319	0.347	0.283	0.461	NEDOZ- VOLJENO
	Y	14.505	2.48	10.3	2.332	0.761	0.346	0.395	0.371	
	Z	4.836	2.73	1.688	2.358	0.488	0.086	0.146	0.07	
L 4	X	6.038	2.95	2.733	1.228	0.862	0.365	0.494	0.356	NEDOZ- VOLJENO
	Y	12.111	2.97	5.835	4.453	0.414	0.379	0.374	0.656	
	Z	16.282	3.85	10.6	3.002	1.185	0.277	0.601	0.617	
L 5	X	9.564	4.58	5.169	1.488	1.098	0.869	0.273	0.667	NEDOZ- VOLJENO
	Y	16.342	2.78	11.78	1.700	1.841	0.596	0.202	0.223	
	Z	10.903	4.31	7.991	1.600	0.534	0.339	0.343	0.096	
L 6	X	7.681	2.40	4.836	1.78	0.484	0.270	0.157	0.154	NEDOZ- VOLJENO
	Y	12.933	4.46	9.239	1.426	0.133	1.476	0.381	0.278	
	Z	10.764	2.83	7.54	2.191	0.523	0.301	0.138	0.071	

The second unit: Drive diesel engine

Table 4 – Measurement results for case 2: aggregate II, diesel engine power

Таблица 4 – Результаты измерения второго анализируемого случая: II электростанция с приводом от дизельного двигателя

Tabela 4 – Rezultati merenja za drugii analizirani slučaj: II agregat, pogon dizel motorom

VIBRACIONO STANJE AGREGATA										Tabela I	
Datum ispitivanja: 8.02.1999 god.			Postrojenje: EI.Agregat No-Brake, II ,SURČIN							Pogon: dizel-motorom Br. obrtaja: 1500 o/min	
LEŽAJ Br.	Ukupna RMS vrednost brzine[mm/s]	CREST faktor	HARMONICI [mm/s]						STANJE po ISO 2372		
			I	II	III	IV	V	VI			
L 1	X	7.91	2.31	1.308	2.675	1.546	0.503	0.9	0.974	TOLERA- NTNO	
	Y	6.54	4.12	3.925	1.956	0.329	0.038	0.146	0.150		
	Z	3.00	3.92	1.251	0.215	0.550	0.125	0.443	0.419		
L 2	X	5.61	3.18	2.413	1.163	1.491	0.278	0.184	0.084	TOLERA- NTNO	
	Y	9.86	3.79	6.066	1.471	0.910	0.320	0.782	0.310		
	Z	7.85	4.60	5.044	0.594	1.077	0.722	0.138	0.070		
L 3	X	9.54	2.41	4.997	3.022	0.733	0.195	0.360	0.236	NEDOZ- VOLJENO	
	Y	14.22	2.17	10.58	0.963	1.103	0.477	0.568	0.531		
	Z	7.72	3.01	5.194	1.403	0.661	0.339	0.066	0.06		
L 4	X	9.03	2.26	4.466	2.845	0.921	0.241	0.348	0.213	NEDOZ- VOLJENO	
	Y	16.12	3.54	10.22	1.099	3.784	0.227	0.608	0.185		
	Z	8.30	3.63	3.708	2.304	1.546	0.355	0.293	0.093		
L 5	X	8.36	2.68	5.293	2.22	0.277	0.177	0.141	0.252	NEDOZ- VOLJENO	
	Y	24.85	4.17	15.38	1.587	5.748	0.908	0.45	0.776		
	Z	9.04	4.33	5.845	0.783	2.403	0.002	0.001	0.003		
L 6	X	9.36	4.56	5.908	2.402	0.417	0.218	0.212	0.204	NEDOZ- VOLJENO	
	Y	18.41	1.72	13.58	0.799	0.314	0.922	1.925	0.87		
	Z	21.74	3.38	14.18	4.94	1.371	0.558	0.163	0.532		
MM7	X	-	-	-	-	-	-	-	-	NEDOZ- VOLJENO	
	Y	11.665	3.89	3.487	2.999	4.571	0.208	0.400	-		
	Z	11.749	3.66	6.800	1.744	1.957	0.163	0.336	0.749		
MM8	X	-	-	-	-	-	-	-	-	NEDOZ- VOLJENO	
	Y	-	-	-	-	-	-	-	-		
	Z	15.702	7.82	0.784	0.206	12.61	0.353	0.282	1.467		
MM9	X	-	-	-	-	-	-	-	-	NEDOZ- VOLJENO	
	Y	22.499	6.78	10.22	3.027	6.089	0.328	0.219	2.616		
	Z	7.224	4.51	0.26	1.285	5.305	0.374	-	-		
MM10	X	-	-	-	-	-	-	-	-	NEDOZ- VOLJENO	
	Y	-	-	-	-	-	-	-	-		
	Z	23.327	6.93	13.24	1.913	4.739	0.409	0.410	2.616		

On the basis of the examination of the vibrating sheet aggregates, it can be concluded the following:

- general sheet aggregates can be characterized according to the ISO standard as BAD,
- basic Cause of elevated levels of vibration should be sought on the insufficient quality of elastic joints (rubber and metal parts should be replaced immediately) and requires tration of the generating circuits,
- perform replacement friction linings electromagnetic couplings.
- perform replacement of roller bearings: the flywheel aggregates,
- electromotor and generator units.

Conclusion: The unit is not suitable for further use.

After the overhaul of the generating set is again done the measurement and analysis of vibration parameters. It was found that at the right time repairs done, the values measured vibrations were in accordance with the prescribed norms and standards for vibration. The unit is put into operational work in air traffic control system.

It was found that practically every other year should be made a general overhaul of engines, if it is used in continuous operation. After some time, it has been shown that it is not possible extended exploitation resources of aggregates, although done very well maintain. We had at the end of the case, in one of the aggregates that were changed all roller bearings, couplings, friction linings, but could not reduce the excessive level of vibrations. After many measurements were found to be worn vibroizolatoras (combination of rubber elements and cylindrical springs in a block) under the chassis on which aggregates are aggregates all the circuits 12 pieces.

Worn under the vibroizolators generator aggregates, where we are always measured the highest levels of vibration during use of aggregates.

Accelerated procedure should be accessible procurement of new generating set.

Conclusion

The paper applied modern vibrodiagnostic methods of measurement and analysis of vibration, in order to determine the technical correctness of diesel generating set, which are of particular importance for the Safety of Air Navigation in the Air Traffic control. Vibrodiagnostic methods for the assessment of the technical safety can be applied in research on all types of generating set: No-Break, Break-short (short interruptions in the power supply), automatic diesel electric generators, mini-hydro power plants in your system are part of the turbine, a variety of flexible couplings, roller bearings, flywheel and generator. The system is similar to a fed-No Break aggregate.

In this way it is done in a planned and preventive maintenance of the generating set, to exclude possibility of occurrence of system failure.

Generating set type No break-in time when they were introduced in the operational work, have proven to be very reliable systems. The main lack was their, high consumption of electricity. Continuously rotating electromotor which in turn drives a generator to which they are all consumers, and in the case a regular supply of electricity from the city network.

In the event of an interruption in the power supply from the city network, system No-Break aggregate drives a diesel engine. If a longer period of interruption in the normal power supply from the mains, diesel engines consume a significant amount of fuel. What happened was that interruptions last for 2 days. For such cases must be provided large quantities of fuel. For these two No-Break aggregate in reserve is always 10.000 liters of diesel fuel in the underground tanks.

In recent years, No-Break generators are replaced with new types of diesel engines, although they still have many locations to use.

The new diesel generators automatically aggregates having a break in the power supply and up to 20 seconds, but after that time included in the system work. To do this would not have happened with diesel engines in the system set UPS systems (uninterruptible power supply), so there is no interruption in the electricity supply.

However, it turned out that these systems have certain disadvantages. If used in conditions on the hills, the mountains where the large atmospheric discharges, very quickly deplete the UPS system modules, which are later very difficult to obtain, since the manufacturers of these devices are changing very quickly and produce new types of UPS systems. It is a very expensive component.

His lack did not have a No-Break sets.

References

Ličen, H. 2003. Vibrodiagnostics as an element of quality assurance and the reliability of. . In: Scientific conference with international participation, quality, Zenica B & H,

Standard ISO 2370 Mechanical vibration of machines with operating speeds from 10 to 200 rev / s in 1974.

Standard ISO 10816 Mechanical vibration of machines in 1974.

Žegarac, N. 2000. Report on the measurement and analysis of vibration on electric generators No-break type, power 175 KVA, the cell power system of Regional flight control, Airport Beograd.

Žegarac, N., Ličen, H., & Zuber, N. 1999. Report on the measurement and analysis of vibration on electric generators set type No-break, with 100 KVA, the radar station, Koviona-Beograd.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН ПОВЫШЕННОГО УРОВНЯ ВИБРАЦИЙ
НА ДИЗЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ В АВИАДИСПЕТЧЕРСКОЙ
СЛУЖБЕ – АЭРОПОРТ БЕЛГРАД

Никола П. Жегарац

Сербская академия изобретателей и ученых, Белград, Республика Сербия

ОБЛАСТЬ: машиностроение, электротехника

ВИД СТАТЬИ: оригинальная научная статья

ЯЗЫК СТАТЬИ: английский

Резюме:

В работе представлены исследования причин повышенного уровня вибраций на дизельных электростанциях в Авиадиспетчерской службе – Аэропорт Белград. Исследованы дизельные электростанции типа No-Break (бесперебойная подача электропитания), мощностью 175 кВА.

Дизельные электростанции используются в качестве резервного источника питания (duplex sistem), в случае перебоя электроснабжения от городских сетей, систем и установок Авиадиспетчерской службы в Аэропорту Белград.

При этом, одна из дизельных электростанций работает в непрерывном режиме, а вторая представляет собой резервную систему электроснабжения.

Утверждены методы оценки вибрации, технического состояния дизельной электростанции, которые являются неотъемлемой частью документации о содержании и ремонте No-Break дизельных электростанций.

Ключевые слова: дизельные электростанции, измерение и анализ вибраций, уровень вибраций, вибродиагностика, параметры вибрационной характеристики, техническое состояние дизельных электростанций.

ISTRAŽIVANJE UZROKA POVIŠENIH NIVOVA VIBRACIJA NA DIZEL-ELEKTROAGREGATIMA U KONTROLI LETENJA – AERODROM BEOGRAD

Nikola P. Žegarac

Srpska akademija izumitelja i naučnika, Beograd, Republika Srbija

OBLAST: mašinstvo, elektrotehnika

VRSTA ČLANKA: originalni naučni članak

JEZIK ČLANKA: engleski

Rezime

U radu su prikazana istraživanja uzroka povišenih nivoa vibracija na dizel-elektroagregatima u Kontroli letenja-Aerodrom Beograd. Dizel-elektroagregati su tipa No-Break (nema prekida u napajaju električnom energijom), snage 175 KVA. Dizel agregati služe kao rezervni izvor napajanja (duplex sistem), u slučaju prekida u redovnom napajanju električnom energijom iz gradske mreže, sistema i uređaja Kontrole letenja na Aerodromu Beograd. Jedan dizel agregat je u neprekidnom radu, dok drugi dizel agregat služi kao rezervni sistem napajanja. Utvrđene su vibrodijagnostičke metode ocene tehničke ispravnosti dizel

agregata i one su sastavni deo dokumentacije za održavanje i remont No-Break dizel-elektroagregata.

Ključne reči: dizel-elektroagregati, merenje i analiza vibracija, nivoi vibracija, vibrodijagnostika, vibracioni parametri, tehnička ispravnost dizel agregata.

Paper received on / Дата получения работы / Datum prijema članka: 09. 11. 2015.

Manuscript corrections submitted on / Дата получения исправленной версии работы / Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 29. 11. 2015.

Paper accepted for publishing on / Дата окончательного согласования работы / Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 01. 12. 2015.

© 2015 The Author. Published by Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (www.vtg.mod.gov.rs, втр.мо.унр.срб). This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2015 Автор. Опубликовано в "Военно-технический вестник / Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier" (www.vtg.mod.gov.rs, втр.мо.унр.срб). Данная статья в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией "Creative Commons" (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2015 Autor. Objavio Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (www.vtg.mod.gov.rs, втр.мо.унр.срб). Ovo je članak otvorenog pristupa i distribuirano se u skladu sa Creative Commons licencom (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).



NEURAL CRYPTOGRAPHY

Danijela D. Protić

General Staff of Serbian Army Forces, Department for
Telecommunication and Informatics (J-6), Centre for Applied
Mathematics and Electronics, Belgrade, Republic of Serbia
e-mail: adanijela@ptt.rs,
ORCID iD:  <http://orcid.org/0000-0003-0827-2863>

DOI: 10.5937/vojtehg64-8877

FIELD: Telecommunications, Information Security
ARTICLE TYPE: Review Paper
ARTICLE LANGUAGE: English

Abstract:

Neural cryptography based on the tree parity machine (TPM) is presented in this paper. A mutual learning-based synchronization of two networks is studied. The training of the TPM based on the Hebbian, anti-Hebbian and random walk as well as on the secure key generation protocol is described. The most important attacks on the key generation process are shown.

Key words: *Tree parity machine; Neural networks; Cryptography.*

Introduction

Information security (IS) is a set of processes, methodologies and procedures for protecting the information and information systems from unauthorized access, use, modification, or destruction. Protecting information in potentially hostile environments is a crucial factor in the growth of the information-based processes in the industry, business, and administration. Cryptography is a key technology for achieving IS in communications and computer systems (Basin and Peterson, 2015) defined as the exchange data into a mangle code that can be deciphered and sent across public and private networks (El-Zoghbi et al., 2013). Cryptography provides four services: privacy, authentication, data

integrity and non-repudiation. Privacy ensures that communication between two parties remains secret; authentication is required to ensure that information is exchanged with a legitimate party; data integrity refers to overall completeness, accuracy and consistency of data while non-repudiation assures that parties in communication cannot deny the authenticity of their signatures on a document or sending a message they generated (Rouse, 2015).

In recent years, cryptography as the application of artificial neural networks (ANNs) has become more attractive and more widely studied (Zhou et al. 2004), (Klein et al., 2004), (El-Zoghabi et al., 2013). Initially inspired by neuroscience to imitate neural structures of the brain, ANNs have been used to solve problems where analytical solutions have failed. They are powerful tools for finding the decision automatically by calculating appropriate parameters (weights) to make the compatibility of one system to another (Abed, 2012).

Neural networks learn from examples. A “teacher” network is presented by input/output pairs of data and a “student” network is being trained on this data. After training, the “student’s” weights overlap with the “teacher’s”. As a consequence, the “student” can classify an input pattern that does not belong to the training set. It was shown that two randomly initialized feedforward neural networks (FNNs), with one layer of hidden units (Protić, 2015), which are trained on their mutual output, can synchronize identical time-dependent weight vectors. Synchronization can be used for a creation of a secure secret key as well as to construct a key exchange protocol for a secure transmission of secret data using a public channel (Rosen-Zvi et al., 2002). In comparison with traditional supervised learning, there is no fixed target function in mutual learning, because each of communicating parties acts as a “teacher” and a “student” simultaneously. Both of the two parties’ statuses are chaotic, driven by a random input (Zhou et al., 2004).

The advantage of neural cryptography is that the algorithm used in generating a secret key can be a simple perception of the Tree Parity Machine (TPM). Synchronization of TPMs by mutual learning only works if both machines receive a common sequence of (random) input vectors. For that purpose, each communication party uses a separate, but identical pseudo-random number generator (PRNG). By mutual learning, two parties synchronize their networks without transmitting inputs over a public channel. Having reached full synchronization, parties can authenticate each other by knowing weight vectors which are identical, and represent a secret key.

This article presents the mutual learning of two TPMs based on the Hebbian, anti-Hebbian and random walk learning rules. The following paragraph presents the structure of the TPM. The secret key generation

and the attacks on TPMs are described in Chapter 3. The analytical and statistical results are presented in Chapter 4. The last chapter concludes the paper.

Tree parity machine

The parity machine (PM) is a neural network applied in cryptography to generate a secret key. It is also used for a key exchange protocol. The TPM network is in fact an FNN that has input layer neurons constructed in the McCulloh-Pitts model (Protić, 2015), (Dolecki and Kozera, 2015). In the second layer, the network has neurons with specific activation functions. The outcome of the output neuron is the results of the entire PM network. Each PM network is described by three parameters: the number of hidden neurons - K , the number of input neurons connected to each hidden neuron - N , and the maximum value for weight $\{-L, \dots, L\}$. A PM consists of KN random input elements $x_{ji} = \pm 1$, $j = 1 \dots N$, K binary hidden units $\sigma_i = \pm 1$, $i = 1, \dots, K$, and one binary output unit $\tau = \prod \sigma_i$, where σ_i is determined via the function $\sigma_i = \text{sign}(\sum_j w_{ji} x_{ji})$. A PM that has three neurons in the hidden layer ($K=3$) is called the three parity machine, shown in Figure 1.

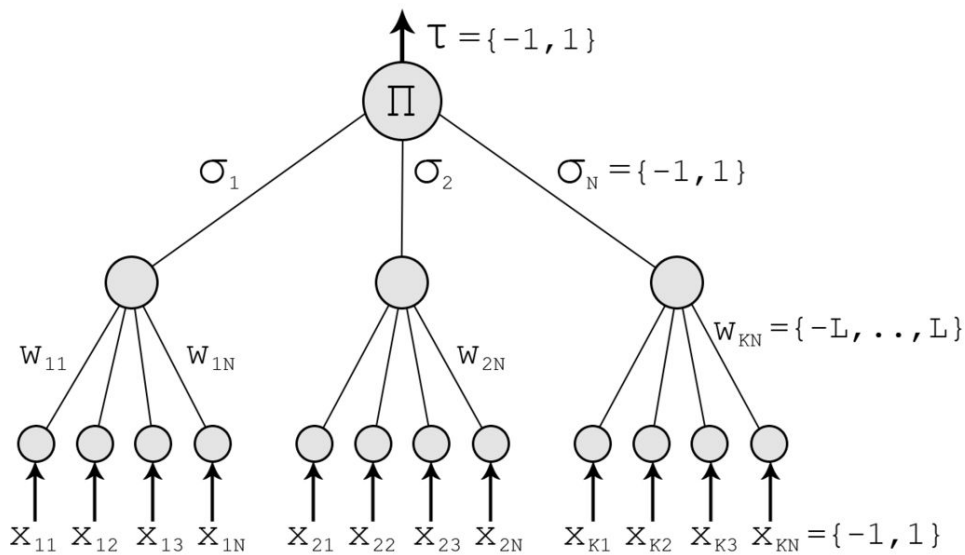


Figure 1 – Tree parity machine
Slika 1 – Tree parity mašina
Рис.1 – Tree parity машина

Function $\text{sign}(x)$ is given with the formula

$$\text{sign}(x) = \begin{cases} -1, & x < 0 \\ 0, & x = 0 \\ 1, & x > 0 \end{cases}$$

To calculate the output value, the following method is used (1)

$$\tau = \prod_{i=1}^K \text{sign} \left(\sum_{j=1}^N w_{ij} x_{ij} \right) \quad (1)$$

Training the tree parity machine

Both communication parties, A and B, are using a TPM with K hidden units (Kinzel and Kanter, 2002). In this example, each network consists of three σ units:

$$\sigma_i^A = \text{sign}(w_i^A x_i), \quad \sigma_i^B = \text{sign}(w_i^B x_i)$$

$$w_{i,j}^{A/B} \in \{-L, -L+1, \dots, L-1, L\}, \quad x_{i,j} \in \{-1, 1\}$$

Three hidden bits σ are combined to an output bit τ of each TMP output bit

$$\tau^A = \sigma_1^A \sigma_2^A \sigma_3^A, \quad \tau^B = \sigma_1^B \sigma_2^B \sigma_3^B$$

The two output bits are used for a mutual training process. At each training step, A and B receive identical input vectors $\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \mathbf{x}_3$ and the corresponding output bit of their partner. The training algorithm goes in this way (Ruttor et al., 2004):

- 1) if the output bits are different, $\tau^A \neq \tau^B$, nothing is changed
- 2) if $\tau^A = \tau^B = \tau$, only hidden units which have an output bit identical to the common output $\sigma^{A/B} = \tau^{A/B}$ are trained
- 3) to adjust the weights, consider three learning rules

a. Hebbian learning rule

$$w_k^+ = g(w_k + \alpha_k \Theta(\sigma_k \tau) \Theta(\tau_A \tau_B))$$

b. Anti-Hebbian learning rule

$$w_k^+ = g(w_k - \alpha_k \Theta(\sigma_k \tau) \Theta(\tau_A \tau_B))$$

c. Random walk

$$w_k^+ = g(w_k + x_k \Theta(\sigma_k \tau) \Theta(\tau_A \tau_B))$$

Θ is a special function:

$$\Theta(a, b) = \begin{cases} 0, & a < b \\ 1, & a = b \\ 0, & a > b \end{cases}$$

Only weights are changed by these learning rules, which are connected to hidden units with $\sigma_i = \tau$. By doing so, it is impossible to tell which weights are updated without knowing the internal representation ($\sigma_1, \sigma_2 \dots \sigma_K$). This feature is especially needed for the cryptographic application of neural synchronization. The learning rules have to assure that the weights stay in the allowed range between $-L$ and $+L$. If any weight moves outside this region, it is reset to the nearest boundary value $\pm L$ (Ruttor, 2006). This is achieved by the function $g(w)$ in each learning rule:

$$g(w) = \begin{cases} \text{sign}(w)L, & |w| > L \\ w, & \text{otherwise} \end{cases}$$

Afterwards, the current synchronization step is finished. This process can be repeated until the corresponding weights in A's and B's TPM have equal values $w_i^A = w_i^B$. Further applications of the learning rule are unable to destroy this synchronization, because the movements of the weights depend only on the inputs and weights, which are then identical in A's and B's networks.

Secret key encryption

Compared to other algorithms based on the number theory, the neural algorithm has several advantages. Its simplicity is the most important of them. Also, it is easy to implement in hardware. Moreover, the number of calculations is low. For every communication, a new secret key can be generated. In this way, no secret information has to be stored for a long time. The safety of algorithm is based on short time to train the TPM. Attackers who know all details of the protocol and the information exchanged over the public channel should not have the computational power to calculate a secret key.

Secret key generation

After a relatively small number of training steps, all pairs of the weight vectors are identical, $w_i^A = w_i^B$. The two multilayer networks have identical synaptic weights. Weights can be used as a key for encryption, a seed for random bit generators (RBGs) or a key in other encryption algorithms (AES, DES, 3DES).

Attacks

Security of neural synchronization is put at risk if an attacker E is capable of synchronizing with any of the two parties during the training of TPMs. The learning time of the attacker that is trying to imitate one of parties in communication is reported to be much longer than synchronization time (Abed, 2012).

Assume that E knows the algorithm, the sequence of input vectors and the corresponding output bits. In time $t=0$, E could start from all of the $(2L+1)^{3N}$ initial weight vectors and calculate the one that is consistent with the input/output sequence. It has been shown that all of these initial states move toward the same final weight vector (Kinzel and Kanter, 2002). This task is, however, computationally infeasible.

A given protocol can be broken by geometric, probabilistic, and genetic attacks (Kilmov et al., 2002), as well as under regular and majority flipping attacks (Zhou et al., 2004) and as such it is not entirely secure. One of the attack strategies involves a large number of cooperating attackers that succeeds in revealing the secret key. However, in each time step, every attacker is multiplied to cover 2^{K-1} possible interpretations of σ_i .

Analytical and statistical results

Analytical calculations show that the attacker E can synchronize with A and B after some learning time which is about 1000 times slower than synchronization (Kanter et al., 2002). Why is that? The answer is simple: The difference between the communication parties and the attacker is that partners can influence each other's network, while the attacker only listens. Some attacks are presented here.

1. Klimov et al. (2002) proposed the *Genetic attack* in which a large population of attackers is trained, and every new time step each attacker is multiplied to cover 2^{K-1} possible representations of $\{\sigma_j\}$ for the current output. As dynamics proceeds, successful attackers stay while others are rejected.

2. The same group of authors has described the *Probabilistic attack* in which the attacker tries to follow the probability of every weight element by calculating the distribution of the local field of every input and using the output.

3. In the *Regular flipping attack* (RFA), the attacker imitates one of the parties. In a step in which his output disagrees with the imitated party, he alters (negates) the sign of one of his hidden units. While the synchronization time increases with L^2 the probability of finding a successful flipping-attacker decreases exponentially with L .

4. The strategy of the *Majority flipping attack* (MFA) is to use attackers as a group rather than as individuals who cooperate. All weights are updated in accordance with the majority's results. Wang (2015) defines the attacker to be successful if he is able to guess 98% of the weights.

5. Up to now, the most successful attack on neural cryptography is the *Geometric attack*. The attacker uses the same TPM and training step as A and B. Only for $r^A = r^B$, E performs the training step. When r^E agrees with the two parties that communicate, E trains hidden units which agree with the common output. For $r^E \neq r^{A/B}$ the attacker first inverts the output bit σ_i of the hidden unit with the smallest absolute value of the internal field and then performs the training step. In this case, the probability that an attacker can synchronize with A or B is non-zero. Consequently, if the attacker uses an ensemble of sufficient TPMs, there is a good chance that he can find a secret key (Mislovaty et al., 2002).

Conclusion

In the last decade, mutual learning based on the parity machine has become popular to be used for cryptography. In this paper, a three parity machine that is a special type of a feedforward neural network with three artificial neurons in the hidden layer, one output neuron and KN input elements is presented. Inputs to the network are binary numbers, while the weights between inputs and hidden neurons take predefined values. The output of the hidden neuron is calculated as a weighted sum of all multiplications of inputs and weights. If the scalar product is zero, the output of the hidden neuron is mapped to -1, otherwise it is mapped to 1, in order to ensure a binary output from the network. The output bit of the network is a product of the three bits of the hidden units.

Mutual learning is used for synchronization between two parties that communicate across a public or private channel. During the synchronization, both communication parties use the same tree parity machines, receive common binary inputs generated randomly from the same random number generator, and exchange output bits. Adjusting the weights according to the learning rules leads to full synchronization in a finite number of steps. Networks trained on their mutual inputs synchronize to an identical time dependant weight vectors. This phenomenon is used to generate a secret key. The learning rules presented in this paper are the Hebbian learning rule, the Anti-Hebbian learning rule, and the Random walk.

An attacker who knows the input/output pairs can derive weights, by learning with his own tree parity machine. Still, even if he eavesdrops a message between the two parties, he cannot change it. The communication parties benefit from mutual interaction so the passive

attacker is usually unable to learn the secret key in time. This essential mechanism allows synchronization but prohibits learning. However, it is shown that some attacks such as the genetic attack, the probabilistic attack, the regular and majority flipping attacks, as well as the geometric attack can crack the tree parity machine protocol. Therefore, some additional cryptographic functions can be combined with the tree parity machine protocol to enhance security. Recent research presents the results on combining a neural network and chaos synchronization (Klein et al., 2004), splitting the mutual information and the training process against flipping attacks (Zhou et al., 2004), adding feedback (Ruttor and Kinzel, 2004) using tree parity machines of various sizes (depths), applying delayed chaotic neural networks (Yu and Cao, 2006). Prabakaran et al. (2008) used different learning rules with different units. Additional research shows that various techniques for software development and hardware implementation can also improve the security of the tree parity machine (CyberTrone, 2009), (Godhavari, 2010). Nevertheless, the specificity of the presented theme suggests that further development of this topic is needed.

References

- Abed, S., 2012, Cryptography Using Artificial Neural Network, *Al-dananeer*, 14(1), pp.378-402.
- Basin, D., Peterson, K., 2015, *Information Security and Cryptography*, Springer.
- CyberTrone 2004, [Internet] Neural Cryptography, Dostupno na Code Project web-site: www.codeproject.com, Preuzeto: 19.08.2015. godine.
- Dolecki, M., and Kozera, R., 2015, Distance of the initial weights of tree parity machine drawn from different distributions, *Advances in Science and Technology Research Journal*, 9(26), pp.137-142.
- El-Zoghabi, A., Yassin, A. H., Hussein H. H., 2013, Survey Report on Cryptography Based on Neural Networks, *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 3(12), pp.456-462.
- Godhavari, T., and Alamelu, Dr. N. R., 2010, Cryptography Using Neural Network, *The Technology World Quarterly Journal*, 2(4), pp.49-54.
- Kanter, I., Kinzel, W., & Kanter, E. 2002. Secure exchange of information by synchronization of neural networks. *Europhysics Letters (EPL)*, 57(1), str.141-147. doi:10.1209/epl/i2002-00552-9
- Kilmov, A., Mityaguine, A., Shamir, A., 2002, Analysis of Neural Cryptography, *AsiaCrypt 2002*. pp.288-298.
- Kinzel, W., and Kanter, I., 2002, [Internet] Neural Cryptography, Cornell University Library, Dostupno na <http://arxiv.org/abs/cond-mat/0208453v1> Preuzeto: 20.08.2015. godine.
- Klein, E., Mislovaty, R., Kanter, R., Ruttor, A., and Kinzel, W., 2004, Synchronization of neural networks by mutual learning and its application to cryptography, *Advances in Neural Information Processing Systems*, pp.689-696.

- Mislovaty, R., Perchenok, Y., Kinzel, W., & Kanter, I. 2002. . *Phys. Rev. . E* 66, 066102. doi:10.1103/PhysRevE.66.066102
- Prabakaran, N., Loganathan, P., and Vivekanandan, P., 2008, Neural Cryptography with Multiple Transfer Functions and Multiple Learning Rule, *International Journal of Soft Computing*, 3(3), pp.177-181.
- Protić, D., 2015, Feedforward neural networks: The Levenberg-Marquardt optimization and the optimal brain surgeon pruning, *Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier*, 63(3), pp.11-28.
- Rouse, M., [Internet], Nonrepudiation, TechTarget, Dostupno na <http://searchsecurity.techtarget.com/definition/nonrepudiation>, Preuzeto: 14.08.2015. godine.
- Rosen-Zvi, M., Kanter, I., & Kinzel, W. 2002. Cryptography based on neural networks analytical results. *Journal of Physics A: Mathematical and General*, 35(47). 35(47): L707-L713. doi:10.1088/0305-4470/35/47/104
- Ruttor, A., 2006, Neural Synchronization and Cryptography, Dissertation zur Erlangung des naturwissenschaftlichen Doktorgrades der Bayerischen Julius-Maximilians-Universität. Fakultät für Physik und Astronomie, Würzburg.
- Ruttor, A., Kinzel, W., Shacham, L., and Kanter, I., 2004 [Internet], Neural cryptography with feedback, Cornell University Library, Dostupno na: <http://arxiv.org/abs/cond-mat/0311607v2> Preuzeto: 17.08.2015. godine.
- Wang, D., 2015, Neural Synchronization Using Genetic Algorithm for Secure Key Establishment, *Journal of Engineering Science and Technology Review*, 8(2), pp.152-156.
- Yu, W., and Cao, J., 2006, Cryptography based on delayed chaotic neural network, *Physics Letters A*, 356(4), Elsevier, pp.333-338.
- Zhou, J., Xu, Q., Pei, W. and He, Y., 2004, Step to Improve Neural Cryptography Against Flipping Attacks, *International Journal of Neural Systems*, 14(6), pp.393-405.

НЕЙРОКРИПТОГРАФИЯ

Даниела Д. Протич

Генеральный штаб Вооруженных сил Республики Сербия,
Управление информатики и телекоммуникаций (Ј-6), Центр прикладной
математики и электроники, Белград, Республика Сербия

ОБЛАСТЬ: телекоммуникации, информационная безопасность

ТИП СТАТЬИ: обзорная статья

ЯЗЫК СТАТЬИ: английский

В работе представлена нейрокриптография, основанная синхронизации на двух дрезовидных машин четности (TRM, tree parity machines). Представлен анализ синхронизации методом двунаправленного обучения. Описан TRM тренинг, основанный на: правиле Хебба, анти-правиле Хебба и случайном блуждании, а также на протоколе генерации скрытого ключа. В работе приведены самые значимые атаки на процесс генерации ключа.

Ключевые слова: tree parity машина, анализ речи, нейронные сети, криптография

NEURONSKA KRIPTOGRAFIJA

Danijela D. Protić

Generalštab Vojske Srbije, Uprava za telekomunikacije i informatiku (J-6),
Centar za primenjenu matematiku i elektroniku, Beograd, Republika Srbija

OBLAST: telekomunikacije, informaciona bezbednost

VRSTA ČLANKA: pregledni članak

JEZIK ČLANKA: engleski

Sažetak:

U ovom radu prikazana je neuronska kriptografija, zasnovana na tree parity mašini (TPM). Proučavana je sinhronizacija dve mreže bazirana na međusobnom obučavanju. Opisan je trening TPM zasnovan na Hebbovom, anti-Hebbovom i random walk protokolu, kao i na protokolu za generisanje tajnog ključa. Prikazani su najznačajniji napadi na proces generisanja ključa.

Uvod

Informaciona bezbednost je skup procesa, metodologija i procedura za zaštitu informacija i informacionih sistema od neautorizovanog pristupa, korišćenja, modifikacije ili uništenja. Zaštita podataka u potencijalno neprijateljskim okruženjima osnovni je faktor u napretku na informacijama zasnovanih procesa u industriji, poslovanju i administraciji. Kriptografija je ključna tehnologija za postizanje informacione bezbednosti u komunikaciji i računarskim sistemima, definisana kao razmena kodovanih podataka koji mogu da budu dešifrovani i preneseni kroz javnu ili privatnu mrežu.

Kriptografija obezbeđuje četiri servisa: privatnost, autentifikaciju, integritet podataka i nemogućnost pobijanja. Privatnost obezbeđuje da komunikacija između strana ostane tajna, autentifikacija je zahtevana da bi bilo osigurano da informaciju dele legitimne strane, integritet podataka odnosi se na celovitost, tačnost i konzistentnost podataka, a nepobijanje obezbeđuje da strane u komunikaciji ne mogu da poreknu autentičnost njihovih potpisa na dokumentu ili prenos poruke koju su generisale.

Poslednjih godina kriptografija je, u smislu primene veštačkih neuronskih mreža, postala atraktivnija i široko proučavana. Početno inspirisane imitacijom neuronskih struktura mozga, veštačke neuronske mreže bile su korišćene za rešavanje problema tamo gde nisu bila moguća klasična analitička rešenja. One su snažni alati za nalaženje rešenja automatski, proračunavajući parametre (težine) da bi se postigla kompatibilnost jednog i drugog sistema. Neuronske mreže uče iz primera. „Učitelj” je predstavljen parom ulazno-izlaznih podataka, a „učenik” je treniran na tim podacima. Nakon treninga učenikovi parametri odgovaraju učiteljevima, pa učenik može da klasifikuje ulazne paterne koji ne pripadaju obučavajućem skupu.

Dokazano je da dve slučajno inicijalizovane feedforward neuronske mreže sa jednim skrivenim slojem, koje su trenirane zajedničkim izlazom, mogu da sinhronizuju istovetne vremenski zavisne težinske vektore. Sinhronizacija može biti korišćena za generisanje tajnog ključa, kao i za formiranje protokola za razmenu ključeva za zaštićeni prenos tajnih podataka korišćenjem javnog kanala. U poređenju sa tradicionalnim supervised obučavanjem, u međusobnom obučavanju nema fiksirane ciljne prenosne funkcije, jer se svaka strana u komunikaciji ponaša i kao učitelj i kao učenik.

Prednost neuronske kriptografije jeste da algoritam korišćen u generisanju tajnog ključa može biti rezultat TPM-a. Sinhronizacija TPM-ova međusobnim obučavanjem radi isključivo ukoliko TPM-ovi dobiju istovetnu sekvencu ulaznih vektora. U tu svrhu, svaka strana u komunikaciji koristi svoj, istovetan generator pseudoslučajnih brojeva. Međusobnim obučavanjem dve strane sinhronizuju svoje mreže tako da ne prenose ulaze javnim kanalom. Dostizanjem pune sinhronizacije strane mogu da se identifikuju, jer znaju težinske vektore koji su identični i predstavljaju tajni ključ.

Tree parity mašina

Parity mašina (PM) jeste neuronska mreža koja se primenjuje u kriptografiji za generisanje tajnog ključa. Takođe, koristi se za protokol razmene ključa. To je, u stvari, feedforward neuronska mreža koja u prvom sloju sadrži neurone generisane po McCulloh-Pitts ovom modelu. U drugom sloju nalaze se neuroni sa specifičnom aktivacionom funkcijom. Izlazna vrednost izlaznog neurona je istovremeno izlazna vrednost PM-a. Svaku PM opisuju tri parametra: K – broj neurona skrivenog sloja, N – broj neurona ulaznog sloja povezanih sa svakim neuronom skrivenog sloja i maksimalna vrednost težina. Parity mašina koja ima tri neurona u skrivenom sloju naziva se tree parity mašina.

Trening tree parity mašine odvija se na sledeći način: ako su izlazni bitovi različiti ništa se ne menja; ako su isti menja se vrednost skrivenim neuronima skrivenog sloja i to isključivo onima koji imaju istovetne vrednosti sa svojim izlazima. Za podešavanje vrednosti težinskih parametara koristi se jedno od sledećih pravila obučavanja: Hebovo, anti-Hebovo ili random walk. U svakom koraku ulazi u obe TPM su isti. Nakon što je izvedena sinhronizacija, parametri TPM-ova (težine) služe za generisanje tajnog ključa. Obučavanje mora da obezbedi da težine ostanu u granicama dozvoljenih vrednosti.

Kriptozaštita bazirana na tajnom ključu

U poređenju sa drugim algoritmima koji su zasnovani na teoriji brojeva, neuronski algoritam ima nekoliko prednosti. Jednostavnost je najbitnija od njih. Takođe, laka je implementacija u hardver. Pored toga, broj kalkulacija je mali. Na kraju, za svaku komunikaciju moguće je generisati novi tajni ključ. Na taj način ni jedna tajna informacija ne mora da bude pohranjena dug period. Sigurnost algoritma zasnovana je

na kratkom vremenu za obučavanje TPM-ova. Napadač koji zna sve detalje protokola i informacija koje će biti razmenjene javnim kanalom nema dovoljnu računarsku snagu da izračuna tajni ključ.

Nakon malog broja koraka za obučavanje dve mreže imaju iste parametre koji mogu biti iskorišćeni za ključeve za šifrovanje, generatore slučajnih brojeva ili ključeve za druge kriptografske algoritme. Bezbednost može biti narušena ukoliko napadač može da se sinhronizuje sa makar jednom od strana u komunikaciji. Međutim, vreme obučavanja je znatno duže. Čak i ako se pretpostavi da napadač zna algoritam i sve parove slučajnih ulaznih sekvenci i odgovarajućih izlaznih bitova potreban mu je znatno veći broj kalkulacija, pa je sinhronizacija teška. Međutim, dokazano je da su mogući napadi na TPM-ove. Dati protokol moguće je napasti geometrijskim, propabilističkim i genetskim napadima, kao i klasičnim i većinskim flipping napadom. Nova strategija napada podrazumeva da se uključi veći broj udruženih napadača koji mogu da uspeju da otkriju tajni ključ.

Analitički i statistički rezultati

Analitički rezultati pokazuju da napadač može da sinhronizuje sa A i B nakon određenog vremena obučavanja koje je oko 1000 puta duže od vremena sinhronizacije. To je zbog toga što partneri u komunikaciji mogu da utiču jedan na drugog dok napadač samo sluša. U radu su prezentovani sledeći napadi: genetički napad koji je zasnovan na velikom broju multiplikacija; probabilistički napad koji je baziran na praćenju verovatnoće pogađanja svake težine; RFA gde napadač imitira jednu od strana; MFA koji koristi više napadača kao grupu; geometrijski napad koji koristi praćenje izlaza obe strane u komunikaciji i izvodi trening alternacijom izlaznog bita skrivenog sloja sa najmanjom apsolutnom vrednošću.

Zaključak

U poslednjoj deceniji međusobno obučavanje zasnovano na tree parity mašini postaje popularno za korišćenje u kriptografiji. U ovom radu prikazana je sinhronizacija dve neuronske mreže sa tri elementa skrivenog sloja i jednim izlaznim neuronom. Ulazi u mrežu su binarni brojevi, dok su težine brojevi predefinisane skupa. Izlaz iz mreže je proizvod izlaza iz neurona skrivenog sloja, koji su računati kao suma proizvoda pojedinih težina sa odgovarajućim ulazima. Ukoliko je skalarni proizvod nula izlazu se dodeljuje vrednost -1, u suprotnom dodeljuje se vrednost 1. Međusobno obučavanje koristi se za sinhronizaciju između dve strane koje komuniciraju javnim ili privatnim kanalom. Strane koriste iste tree parity mašine, primaju istovetne ulazne bitove i razmenjuju izlazne bitove. Podešavanje težina po pravilima sinhronizuje sistem na identične vremenski zavisne težine u konačnom broju koraka. Ovaj fenomen koristi se za generisanje tajnog ključa. Pravila obučavanja koja su prikazana u radu su Hebbovo, anti-Hebbovo i the Random walk.

Napadač koji zna izlazno-ulazne parove može da odredi težine obučavajući tree parity mašinu. Ipak, i ako presretne poruku, on ne može da je menja. Komunikacija između dve strane obezbeđena je međusobnom interakcijom tako da pasivan napadač obično nije u mogućnosti da odredi tajni ključ. Međutim, postoje napadi na ovakav protokol. To su genetski napad, probabilistični napad, regularni i većinski flipping napadi i geometrijski napad. Zbog toga je moguće kombinovati protokol tree parity mašine sa drugim kriptografskim funkcijama, kao što su haotična sinhronizacija, deljenje međusobne informacije u procesu obučavanja protiv flipping napada, dodavanje povratne sprege, odlaganje, korišćenje mašine različitih veličina (dubine), korišćenje različitih pravila obučavanja, itd. Dodatno, istraživanja pokazuju da različite softverske tehnike i hardverske implementacije takođe doprinose bezbednosti tree parity mašine. U svakom slučaju, specifičnost prezentovane teme ukazuje da je istraživanje u ovom pravcu i dalje potrebno.

Ključne reči: tree parity mašina, neuronske mreže, kriptografija.

Paper received on / Дата получения работы / Datum prijema članka: 21. 08. 2015.
 Manuscript corrections submitted on / Дата получения исправленной версии работы /
 Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 20. 10. 2015.
 Paper accepted for publishing on / Дата окончательного согласования работы / Datum
 konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 22. 10. 2015.

© 2016 The Author. Published by Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (www.vtg.mod.gov.rs, втр.мо.унр.срб). This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2016 Autor. Objavio Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (www.vtg.mod.gov.rs, втр.мо.унр.срб). Ovo je članak otvorenog pristupa i distribuirao se u skladu sa Creative Commons licencom (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2016 Автор. Опубликовано в "Военно-технический вестник / Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier" (www.vtg.mod.gov.rs, втр.мо.унр.срб). Данная статья в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией "Creative Commons" (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).



BUSINESS AND IT ALIGNMENT

Milosav N. Majstorović
Information Technology School,
Belgrade, Republic of Serbia,
e-mail: milosav.majstorovic@its.edu.rs,
ORCID iD:  <http://orcid.org/0000-0003-0787-7625>

DOI: 10.5937/vojtehg64-9263

FIELD: Information Technology
ARTICLE TYPE: Review
ARTICLE LANGUAGE: English

Abstract:

Over the last two decades, the need for the alignment of business needs and opportunities of information technology (IT) has been considered one of the key issues in IT management. Research in the field of business and IT alignment gained momentum in the last decade of the last century when it was realized that the cost-effectiveness of IT investments directly contributed to the so-called strategic alignment, ie. alignment between business strategy and IT strategy. It is recognized that IT changes the direction in which companies organize their business processes, communication with customers and deliver their products and services.

The aim of this study is to investigate the current situation in solving the problem of business and IT alignment in order to allow a comparison of different definitions and a conceptualization of this phenomenon, and also to consider the efforts made so far in order to solve this problem. The conceptualization of the phenomenon of alignment of business and IT is given through the strategic alignment model that had the biggest impact in this area. The question of the applicability of the model and the framework developed for the purpose of alignment stems from the challenges facing the problem of alignment of business and IT. These challenges are categorized and particularly elaborated in this paper.

Key words: alignment, IT strategy, business strategy, strategic alignment model.

Introduction

Annual Research Society for Information Management (www.simnet.org) ranked „*Business and IT alignment*” among the top ten concerns of senior management in the period from 2003 to 2010. Out of

these 8 years, five years saw it as the „biggest concern" (Silvius, 2013). Despite many studies over several years on the topic of business and IT alignment (the work (Chan, Reich, 2007b) analyzed more than 150 studies on this subject), the fact remains that this topic is at the top of IT and business managers concerns (Silvius, 2013).

Alignment in the academic literature is conceptualized in different directions (Chan, Reich, 2007a). One, perhaps the dominant direction, is advocating the principle that IT should be organized and managed in such a way that it reflects business management (Sauer, Yetton, 1997). In (Reich, Benbasat, 1996) alignment is defined as the degree of agreement between the mission, objectives and plans contained in the business strategy with IT strategy. In (Henderson, Venkatraman, 1993) alignment is seen as a level of fit and integration between the business strategy, IT strategy, business infrastructure and IT infrastructure. The authors (McKeen, Smith, 2003) represent the view that strategic alignment exists when the objectives and activities of the organization (the business system) and the supporting information system are in harmony.

In the literature, informal definitions of alignment can also be found. For example, (Campbell, 2005) "Alignment is the joint work of business and IT in achieving a common goal". Similarly, in (Abraham, 2006) "Strategic alignment is when everyone is rowing in the same direction". These perspectives do not refer to the vision, strategy, plans, etc., which are mentioned in many subsequent academic definitions of alignment, but their intuitive meaning is clear. However, due to their lack of precision, these definitions are less helpful in articulating what exactly makes a good alignment and how it can be measured (Chan, Reich, 2007a).

In the literature, in addition to the term alignment, there are also terms such as: fit (Henderson, Venkatraman, 1993), (Wang, 2014), linkage (Reich, 1993) and integration (Henderson, Venkatraman, 1993). The terms of harmony, bridge and fusion are also used in a similar context and meaning, although there are differences in small details (Chan, Reich, 2007a). In national literature, this area is not specifically addressed regarding this aspect, so this paper adopts the term alignment, starting from the fact that the development of business and IT can be presented and monitored in the vertical plane, and the ultimate goal is that they are at the same level, ie. aligned.

Taking into account the main components of different definitions of the concept of alignment in the literature, (Silvius 2013) gives a wide view of the alignment of business and IT, as well as the extent to which IT applications, infrastructure and organization enable and shape the business strategy and processes, as well as the process, ie. activities or methodologies to achieve a certain degree of alignment.

For studying any complex problem, it is important to do its conceptualization, for example, through the development of appropriate

models. Models provide a comprehensive and prescriptive approach to the study of the problem of alignment. Since the nineties, many alignment models have been developed, and this paper will focus mainly on the SAM (Strategic Alignment Model) model, which had a great impact in this area (Chan, Reich, 2007a), and served as the basis for many subsequent expansions.

The second chapter of the paper gives an overview of studies related to the problem of alignment of business and IT. The third chapter is dedicated to the conceptualization of the alignment problem. The already mentioned strategic alignment model is presented. The dimensions through which the model describes the alignment of business and IT are defined as well as the fundamental domains of these dimensions and the components of these domains. Some critical reviews of this model are also given, as well as criteria (ie, variables) for measuring the maturity of settling in the Strategic Alignment Maturity Model (Luftman, 2000), which is the most quoted and applied empirical model (Mekawy , et al., 2009). The fourth chapter presents the efforts made to overcome the problem of business and IT alignment and the effects of these efforts. The final chapter gives a conclusion stating the main contributions of this work and possible directions for further research.

Literature review

Henderson and Venkatraman (Henderson, Venkatraman, 1993) presented a model for the conceptualization and strategic management of information technology (called the Strategic Alignment Model - SAM). The proposed framework is applied broadly and generally considered as a key reference model alignment. The model is defined by four fundamental models. These are: business strategy, information technology strategy, organizational infrastructure and processes, and infrastructure and information technology processes. The interaction of these four components in two dimensions, the integration of strategies and functional integration, form a state space model. From this model, four alignment perspectives are derived with specific implications for management practice (Strategy execution, Technology transformation, Competitive potential and Service level). This context does not present solution artifacts, nor the situational differences of the business and IT alignment problem are considered. The model provides neither constructions for measuring alignment nor the instruments for its achievement. Therefore, empirical studies on alignment generally apply models that can be seen as an extension of the SAM model (Silvius 2013).

Luftman (Luftman, 2000) developed a tool to measure strategic alignment based on the maturity model which covers six different areas: (1) communication, (2) competence / value, (3) management, (4) partnership, (5) technological environment, and (6) the maturity of skills. This approach enables, to a certain degree, the assessment of the maturity of business and IT alignment in companies. This work was later expanded (Sledgianowski, Luftman, 2005) into the framework of the strategic alignment maturity assessment (SAMA). The assessment tool can be seen as an artifact that supports the solution of the problem, but the approach does not cover the characteristics of different situations in the real world (Saat, et al, 2010).

Chan and Reich (Chan, Reich, 2007a) provide an overview of literature related to the alignment problem in IT. They first discuss the motivation for researching alignment. The dilemma of how much attention should be given to research in this area was highlighted, ie. whether it is always advisable to have strict business and IT alignment. The situations and arguments when strict alignment is not desirable or is generally not possible are given. The authors, however, take the view that alignment is a challenge that deserves attention and study, and that alignment is a value in itself, and that it contributes to the success of the organization. Standing on the view that alignment is neither a static, nor one-dimensional factor or process, being difficult to achieve at the same time, the authors expose many perspectives of alignment and suggest a direction which researchers and practitioners should follow. The definition of alignment is then discussed followed by the presentation of the key alignment dimensions and levels. The following dimensions of alignment are dealt with: strategic / intellectual, structural, informal structural, social and cultural. When it comes to the levels of alignment, the authors point out that it would be ideal to have alignment at all levels of the organization, including the organizational level, the system level, the project level and the individual / cognitive level. The aspects of internal and external alignment are defined and the importance of external alignment is stressed regarding the relations with business partners such as customers and suppliers. The importance of measurement is emphasized and different approaches for assessing alignment are presented. Considering the measurement as granular and descriptive, the authors describe the most significant alignment models, believing that they provide comprehensive and prescriptive approach to the alignment problem. Starting from the fact that alignment can be seen as a construct measured at a given point of time as well as an ongoing process, the authors elaborate the conditions and outcomes of alignment, as well as models of the alignment process. A special value of this detailed alignment literature review is a systematization of advice for business managers and IT practitioners.

The Cuenca et al. (Cuenca, et al., 2009) work was based on the thesis that the IT strategy usually depends on the business strategy and that the alignment of the two strategies improves their strategic plans. This paper presents an overview of the strategic alignment between business and IT and proposes the use of EE (enterprise engineering) approach to achieve this alignment. It identifies necessary components for modeling IT strategy and increasing the alignment of business strategy and IT. In accordance with the EE approach, specific building blocks are defined as well as new phases of the life cycle required for incorporating IT strategies into the EA (Enterprise Architecture) framework. These suggestions are illustrated on an example of a company for ceramic tiles.

A business and IT alignment problem analysis done in (Saat, et al., 2011), using a prescriptive approach, showed that the alignment of business and IT is not sufficiently specified to allow for a systematic construction of artifacts that would represent a solution to the problem. Also, the existing approaches are not situational and do not reflect the diversity of the alignment problem in the real world. The authors use the decomposition of the target in order to qualitatively characterize the business and IT alignment from the following perspectives: (i) IT system, (ii) business and (iii) IT management. The research study included 174 professionals from different European countries who helped in the identification of four different situations of business and IT alignment. The authors point out that the results of the study can be used to build models and methods that would allow the alignment operationalization as well as its adaptation to the needs of different situations.

Ula and Lai (Ula, Lai, 2011) have presented an objective-oriented framework for the specification of requirements, which takes into account the organizational context, and which should enable that the IT department better understands the business objectives of the organization, so that the IT system can better meet business requirements. The process of managing the procurement of an automobile company is presented as a case study to illustrate the approach.

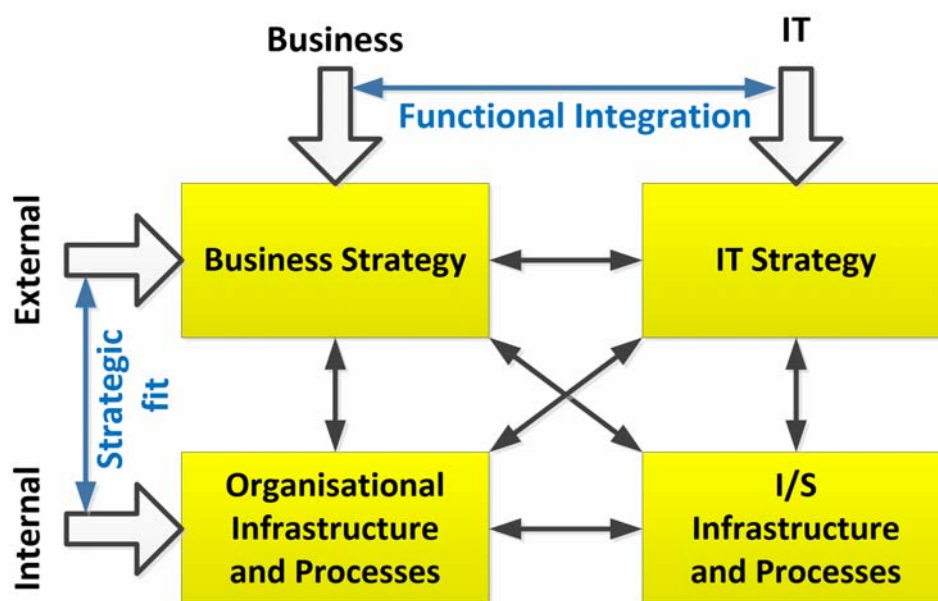
A framework and a literature review from Aversano et al. (Aversano, et al., 2012) are useful for the evaluation of different approaches to alignment. Referring to the results of some studies that have addressed this issue, they noted that the performance of business and IT is closely linked and that a company cannot be competitive if its business and IT strategy are not aligned. These studies are oriented to different abstract levels, from the functional to the strategic one. Strategic alignment exists when the goals, activities and processes of business organizations are in harmony with the information system that supports them (Croteau, Bergeron, 2001). On the other hand, the functional level of the analysis of alignment between the existing business processes and software systems is necessary to optimize the effectiveness of software support (Aversano, et al., 2012).

Alignment models

Models provide a comprehensive and prescriptive approach to the study of the alignment problem. Since the 1990s, many alignment models have been developed; this paper focuses on the SAM (Strategic Alignment Model) model which had a significant impact in this area (Chan, Reich, 2007a) and was the basis for many subsequent expansions.

Initially, IT had a strictly supportive function in business systems and it was the department for assistance. However, with advances in technology, many have realized a new IT potential in executing strategic functions. Strategy is a very interesting and complex discipline. There are different definitions of strategy, depending on the point of view. This paper starts from the following definition: "Strategy is creating a synergy between the company's activities (business system)." Namely, according to (Porter, 1996), if there is no connection between the activities, there is no specific strategy in the company. In such a case, management is reduced to a simpler task of monitoring unrelated functions, and operational effectiveness determines the performance of an organization. Of course, business environment of an organization also plays a significant role in the definition of its strategy.

Majstorović, M., Business and IT alignment, pp. 496–512



Slika 1 – Strategijski model poravnanja (Silvius, 2007)

Figure 1 – Strategic Alignment Model (Silvius, 2007)

Рис. 1 – Модель стратегического выравнивания (Silvius, 2007)

The SAM model, defined in (Henderson, Venkatraman, 1993), is a model for the conceptualization and strategic management of information technology. This model describes the alignment of business and IT in two dimensions (Figure 1) (Silvius 2007). The strategic fit differentiates an external focus, aimed at the business environment, and an internal focus, directed towards administrative structures. Thus, the strategic fit represents a vertical link in the SAM model. The second dimension, a functional integration, separates business and IT. Thus, the functional integration represents the horizontal link in the SAM model. Together with these dimensions, the model defines four fundamental domains: business strategy, information technology strategy, organizational infrastructure and processes, as well as infrastructure and information technology processes.

Each domain has its own components. The following is a brief overview of these components (Luftman, 2000).

Business strategy

The business area comprises the market, products, services, customers / clients and the locations where the company operates, as well as current and potential competition that affect the business environment.

Characteristic competencies: critical success factors and key competencies that provide a competitive advantage to the company. This includes brands (special types of products in the enterprise), research potential, production and product development, cost and price structure of products as well as sales and distribution channels.

Business management: the way the company establishes the relationship between management, shareholders and board of directors. It also includes the impact of legislation on the company and how the company manages connections and alliances with strategic partners.

Organizational infrastructure and processes

The administrative structure of the organization represents a way to organize a business organization. It may be: centralized, decentralized, matrix, horizontal, vertical, geographic, functional, etc.

Processes are models of business activities (eg. The mode of execution of work by employees). In fact, the main activities are the ones that bring a new value to the organization. An important aspect in this field is the improvement of the process.

Skills are the domain of human resources management, which includes recruitment / dismissal, motivation and training / education of workers.

IT strategy

The technological scope is the most important software and hardware components.

System competence are special features (eg. access to information that is important for creating / achieving the company's strategy), which are characterized by IT services.

IT management is a way to share the responsibility for resources, risks, conflict resolution in the context of IT, between business partners, IT managers and service providers. Also, project selection and prioritizing for their realization belongs to this component.

IT infrastructure and processes

Architecture: technological base, the choices and decisions that enable the interaction between software, networks, hardware and management into a cohesive platform.

Processes: actions and activities aimed at the development and maintenance of applications and at managing IT infrastructure.

Skills: Domain of human resources management in IT, which includes hiring / firing, motivation and training / education of workers.

Analysis and criticism of the SAM model

Although the concept of strategic alignment in the SAM model caused great attention and constituted an important research direction for people from business and IT, both in academia as well as in industrial circles, it has undergone certain criticism (FADE, 2008). Thus, (Ciborro, 1997) points out that the concept of the SAM model does not reflect the reality of the current management practices of real business. The author sees the SAM model as an attempt to merge two extremely unstable variables that represent business and IT strategy. Conceptually, strategic alignment may be well placed, but in everyday business there are significant difficulties in its implementation. Frequent changes in business strategies have resulted in permanent patching of IT support, which results in a shift in the field of IT strategy, ie. its instability. Alignment is a conceptual bridge that makes us appreciate the true nature of the coast that need to be overcome: the management strategy and technology. The strategy seeks to link different things in order to achieve the objective, and the technology embodied in IT infrastructure is prone to constant "detours", since IT is constantly changing, so it is often out of control. Thus, even if the strategic alignment produces some results, they do not last long (Ciborro, 1997).

Despite the criticism the SAM model experienced, its contribution (and the contribution of models based on its extensions as well) cannot be denied for conceptualizing the problem of business and IT alignment. However, the weakness of this model is reflected in the limited possibilities of application in practice. Therefore, the problem is their operationalization. In order to overcome this problem, there have been developed models and frameworks that represent an empirical elaboration of the alignment problem. The aim of these models is to offer practical tools for measuring the achieved level of alignment. In this context, the most quoted and applied empirical model (Mekawy, et. Al., 2009) is the Strategic Alignment Maturity Model (Luftman, 2000). It defines six criteria (ie, variables) for measuring the alignment maturity. The respective criteria (variables) are listed below together with their brief description.

- *Communication.* How well the IT and business staff understand each other? Was it easy to make a contact, and how often? Does the company communicate effectively with consultants, vendors, and partners? Is both existing and newly acquired knowledge shared internally, within the organization?

- *Value measurement.* How well do companies measure their own performance and values of their projects? Are the project strengths and weaknesses assessed on their completion? Are internal processes improved so that the following projects can be better?

- *Management.* Are the current projects stemming from the understanding of the business strategy? Do they support this strategy? Are IT projects transparent, and is there a responsibility for their outcomes?

- *Partnership.* Is there a genuine partnership of business and IT, based on mutual trust, sharing risk and success?

- *Scope and architecture.* To which extent did technology evolve and become something more than just support for business? How and how much did it help business to grow, become more competitive and more profitable?

- *Skills.* Do staff have the skills necessary to be effective? How well do the technical staff understand the needs of business and speak its own language? How much do the business personnel understand the relevant technology concepts?

Efforts to overcome the business and IT alignment problem and the effects of these efforts

Silvius (Silvius 2013) performed an analysis of the results achieved in the field of measuring the actual impact of the alignment made in the context of creating a new value. Alignment should contribute to business results from the use of IT, thereby increasing business performance. However, measuring the contribution of IT and investment in IT yields has powered

intensive research in recent decades. The research results show that the issue is an open problem for IT management and business in general.

Empirical studies have shown different results of the contribution of IT investments to new business values. Several studies have demonstrated the absence of the link between IT investments and the performance of organizations (Silvius 2013). It was concluded that this problem has social and organizational dimensions. Specific IT investments can have positive effects in the organization A, but not in the organization B, depending on how IT is used. Therefore, IT synergistic effects with other organizational factors must be considered. In addition to the approaches that value the contribution of IT to creating new values in the organization, there are specific approaches that focus on the conditions and situational aspects under which IT creates value in the organization. These approaches are known as procedural approaches to the evaluation of IT (Mooney, et al., 1995). In these approaches the focus is on the issues - why, how and when IT creates value in the organization. The process approach links the value, IT evaluation and alignment. Henderson and Venkatraman (Henderson, Venkatraman, 1993) also suggest that the cost-effectiveness of IT investments is a function of strategic alignment.

Challenges in business and IT alignment

Despite numerous studies, an apparently "logical" connection between alignment and newly created values of the organization is not sufficiently explored. So, the question remains how alignment affect, or should affect, IT evaluation in the organization. This unexplored connection may be one reason why the alignment of business and IT remains the dominant concern of business and IT managers. Research by the Society for Information Management (www.simnet.org) showed that, despite the conceptualization and operationalization of alignment, alignment of business and IT remains a challenge for many organizations. This fact raises the question of the applicability of models and frameworks developed for alignment. Silvius (Silvius 2013) analyzed the reasons for this situation. Below is an outline of the main challenges for alignment of business and IT that follow from empirical studies (Silvius 2013).

The problem of the lack of a generally accepted framework or model

After several years of research in the field of alignment, there is still no recognized, generally accepted framework or model. It should provide a common ground for researchers and practitioners in understanding and study of alignment, in order to acquire further theoretical knowledge and lead to practical applications of this concept. As noted above, the SAM

model (Henderson, Venkatraman, 1993) can be considered as the starting point for the models and frameworks of alignment of business and IT. Although this model helps in understanding the components that cause alignment, it does not give a way and directions on how to achieve alignment. The models which are an empirical elaboration of the problem of alignment, such as the Strategic Alignment Maturity Model (Luftman, 2000), represent efforts to overcome this problem.

Descriptive and prescriptive models of alignment

The SAM model as well as the derived models representing a conceptual elaboration of the alignment problem are mainly descriptive by their nature. These models provide a view or perspective of what alignment is, i.e. they define the different components that contribute to alignment. Their application in practice requires "translating" from the descriptive theory to the prescriptive theory. The term prescriptive here refers to a way of providing a roadmap or guidance on how to achieve alignment (Silvius 2013). The implementation of alignment models in organizations requires more detailed interpretations and definitions than those already available, for example the SAM model. The maturity model for strategic alignment (Luftman, 2000) provides a more prescriptive approach. However, its implementation requires taking into account a specific organizational context.

Limited ability to measure alignment

For anyone interested in the management of alignment in the organization, it is important to have a clear picture of what alignment is and how it is assessed. This follows from the proven truth that we cannot change something we cannot manage, and one cannot manage something that cannot be measured. An important condition for improving alignment of business and IT is the availability of tools for measuring alignment. The models listed indicate the components that contribute to alignment. However, there is no agreement about how these components can be assessed in a concrete alignment analysis (Silvius 2013).

Alignment requires a comprehensive approach

Another reason why alignment is hard to attain is that professionals often look for a simple solution to achieve this goal. In different moments and situations, this "magical solution" is expected from the framework for processes (such as eg. ITIL and COBIT), from IT architecture or, for example, from IT management. The conceptualization and operationalization of alignment discussed above require, however, a comprehensive approach in which there are very few easy solutions (Silvius 2013).

The problem of lack of knowledge and weak definitions of business

Alignment is not possible if the business strategy is not known or is in the process of creating (Chan, Reich, 2007a). Most alignment models start from the identification of the business strategy as one of the organizational components with which alignment should be performed. An unknown business strategy, or if the business strategy is unclear, represents the logical challenge for the alignment of business and IT. Thus, the lack of a business strategy or its vague definition can keep the problem of business and IT alignment at its beginning.

Dynamic reality

Practical problems of business and IT alignment stem from an increase in dynamics and volatility of markets and organizations. Organizations are trying constantly to adapt to changes in the market, technology, customer requirements, etc. Since this is a continuous process of change, in (Chan, Reich, 2007a) it is noted that: „there is no such a thing as a 'state' of alignment”. In such environment and context, alignment of business and IT can never be reached. Several authors emphasized that alignment is a process rather than a 'state' (Silvius 2013). With this in mind, organizations need to continuously and adequately manage the process of alignment of business and IT.

Evolutionary role of IT

A particular reason for the disconnection between theory and practice of alignment can be found in the altered role of IT in organizations. Many studies were conducted on alignment 10 to 20 years ago. However, in the last decade there has been a change in the role of IT in organizations. For example, the Internet enables organizations to create new outlets for their products or services, to develop new services that affect retention and loyalty of the existing ones, as well as to acquire new customers. In short, IT is changing business organizations, and from a factor that enables business, which is a traditional view of IT, it becomes an instrument that develops and improves operations. Since IT is increasingly integrated into products, services and market organizations, its changed role has resulted in an increased impact on achieving alignment. Alignment means no more how much IT is aligned with business, but how much business is aligned with IT (Luftman, Kempaiah 2007).

Conclusion

For a long time, business and IT alignment has been attracting the attention of both academic communities and companies that want to become and stay competitive in the market competition. The performances of business and IT are closely linked, and companies cannot be competitive if their business and IT strategies are not aligned, ie. coordinated. The aim of this study is to determine as precisely as possible the phenomenon of conceptual alignment, make its conceptualization and define the problems and challenges that stand in the way of successful implementation of business and IT alignment.

In order to fulfill this objective, the author has reviewed extensive contemporary and relevant literature related to the problem of alignment. The analysis of research in this area has led to the conclusion that there is no single definition of the concept of alignment. In addition to the formal, substantiated corresponding models, there are informal definitions, which are intuitive and help to understand this phenomenon, but are less helpful in articulating what exactly makes good alignment and how it can be measured.

In addition to the precise definition of the term alignment, this paper gives different approaches to the conceptualization of this problem through the presentation of the most significant models of alignment. In fact, the greatest attention was paid to the strategic alignment model that had a great impact in this area (Chan, Reich, 2007a) and was the basis for many subsequent expansions.

The special contribution of this work is the systematization of efforts made in solving the problems of business and IT alignment. We analyzed the results achieved in this field, and identified the problems and challenges that stand in the way. The identified problems and challenges are the motivation for further work of the author in this domain. In order to seek solutions that will alleviate the problem of alignment of business and IT, and that will enable this alignment to be realized to a greater extent, the following approaches are to be researched and applied:

- enterprise architecture as a way of a comprehensive and unified modeling of an organization, its business and IT,
- formal modeling of the business processes of the organization and their execution, analysis, monitoring and upgrading using the system for business process management.

As expected, these approaches should enable the continuous management of the problem of alignment of business and IT. Krstajic et. al. (Krstajic, et. al., 2014) used an approach based on enterprise architecture (EA) as a direction of the alignment of business and IT in the field of insurance industry. Given the growing importance of service-

oriented business, the results of the planned research could be used to create a specific methodological framework for the development of EA in the field of service-oriented business and for contributing to its operationalization through the definition and implementation of software tools for business process management.

Literature / References

- Abraham, G.A.(2006). Successful Organizational Leadership: Effective execution through strategic management. Preuzeto sa <http://www.refresher.com/Archives/agaaexecution.html> 2015 Jul 25.
- Aversano, L., Grasso, C., & Tortorella, M. 2012. A literature review of Business/IT Alignment Strategies. *Procedia Technology*, 5, str.462-474.
- Campbell, B. 2005. Alignment: Resolving ambiguity within bounded choices. . U: PACIS, Bangkok, Thailand. , str.1-14
- Chan, Y.E., & Reich, B.H. 2007a. IT alignment: What have we learned. *Journal of Information Technology*, 22(4), str.297-315. doi:10.1057/palgrave.jit.2000109
- Chan, Y.E., & Reich, B.H. 2007b. IT alignment: An annotated bibliography. *Journal of Information Technology*, 22(4), str.316-396. doi:10.1057/palgrave.jit.2000111
- Ciborra, C.U. 1997. De Profundis?, Deconstructing the concept of strategic alignment. *Scandinavian Journal of Information Systems*, 9(1), str.67-82.
- Croteau, A.M., & Bergeron, F. 2001. An information technology trilogy: Business Strategy, technological deployment and organizational performance. *Journal of Strategic Information Systems*, 10(2), str.77-99.
- Cuenca, L., Boza, A., & Ortiz, A. 2011. An enterprise engineering approach for the alignment of business and information technology strategy. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 24(11), str.974-992.
- Fadeel, R.S. 2008. Business-IT Strategic Alignment Concept in Theory and Practice. University of Göteborg.
- Henderson, J.C., & Venkatraman, N. 1993. Strategic alignment: Leveraging information technology for transforming organizations. *IBM Systems Journal*, 32(1), str.4-16.
- Krstajić, D., Cvetković, R., & Majstorović, M. 2014. Towards the alignment of business and IT in insurance company. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 4(3), str.1-7.
- Luftman, J.N. 2000. Assessing Business-IT Alignment Maturity. *Communications of the Association for Information Systems (AIS)*, 4(14), str.1-50.
- Luftman, J., & Kempaiah, R. 2007. An Update on Business-IT Alignment: A Line Has Been Drawn. *MIS Quarterly Executive*, 6(3), str.165-177.
- McKeen, J.D., & Smith, H. 2003. Making IT Happen: Critical issues in IT management. Hoboken NJ: Wiley.
- Mekawy, M., El Rusu, L., & Ahmed, N. 2009. Business and IT Alignment: An Evaluation of Strategic Alignment Models. *Communications in Computer and Information Science*, 49(3), str.447-455.
- Mooney, J., Gurbaxani, V., & Kraemer, K. 1995. A process oriented framework for assessing the business value of information technology. . U: Sixteenth Annual International Conference on Information Systems (ICIS), Amsterdam. , str.17-27
- Porter, M.E. 1996. What is strategy?. *Harvard Business Review*, 74(6), str.61-78.

Reich, B.H. 1993. Investigating the Linkage between Business and Information Technology Objectives: A multiple case study in the insurance industry, PhdThesis, University of British Columbia.

Reich, B.H., & Benbasat, I. 1996. Measuring the Linkage between Business and Information Technology Objectives. MIS Quarterly, 20(1). 20(1): 55. doi:10.2307/249542

Saat, J., Franke, U., Lagerström, R., & Ekstedt, M. 2010. Enterprise Architecture Meta Models for IT/Business Alignment Situations. . U: 14th IEEE International Enterprise Distributed Object Computing Conference, Vitoria. , str.14-23

Saat, J., Winter, R., Franke, U., Lagerstrom, R., & Ekstedt, M. 2011. Analysis of IT/Business Alignment Situations as a Precondition for the Design and Engineering of Situated IT/Business Alignment Solutions. . U: 44th Hawaii International Conference on System Sciences, Hawaii, USA. , str.1-9

Sauer, C., & Yetton, P.W. 1997. The Right Stuff - An introduction to new thinking about management. U C. Sauer & P.W. Yetton Ur., Steps to the Future: Fresh thinking on the management of IT-based organizational transformation, 1st.San Francisco: Jossey-Bass., str.1-21.

Silvius, A.J.G.(2007). Business & IT Alignment in theory and practice. Preuzeto sa <http://www.computer.org/csdl/proceedings/hicss/2007/2755/00/27550211b.pdf> 2015 Jul 1.

Silvius, A.J.G. 2013. Business and IT alignment in context.Utrecht: Utrecht University.

Sledgianowski, D.J.N., & Luftman, J.N. 2005. IT-Business Strategic Alignment Maturity: A Case Study. Journal of Cases on Information Technology, 7(2), str.102-120.

Ula, A., & Lai, R. 2011. Modeling Business Goal for Business/it Alignment Using Requirements Engineering. Journal of Computer Information Systems, 51(3), str.21-28.

Wang, Z. 2014. Strategic Fit Issues in Information System Research: Concept, Operationalization and Future Directions. International Journal of Hybrid Information Technology, 7(1), str.13-24.

ВЫРАВНИВАНИЕ БИЗНЕСА И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Милосав Н. Майсторович

Колледж информационных технологий, Белград, Республика Сербия

ОБЛАСТЬ: информационные технологии

ВИД СТАТЬИ: обзорная статья

ЯЗЫК СТАТЬИ: английский

Резюме:

Более двух десятилетий необходимость выравнивания потребностей бизнеса и возможностей информационных технологий (ИТ) рассматривается, как один из ключевых вопросов в области управления ИТ. Исследования в области выравнивания бизнеса и ИТ стали расширяться за последнее десятилетие прошлого века, когда стало ясно, что экономическая эффективность инвестиций в ИТ непосредственно участвует в, так называемой, стратегической ориентации, заключающейся в выравнивании ме-

жду бизнес-стратегией и ИТ-стратегией. Стало очевидным, что ИТ направления меняются, в связи с чем компании стали сами осуществлять собственные бизнес-процессы, коммуникацию с клиентами, поставку продукции и предоставление услуг.

Целью данного исследования является изучение текущей ситуации в решении проблем выравнивания бизнеса и ИТ, сопоставительный анализ различных определений и концептуализации этого явления, а также анализ применяемых методов при решении данных проблем.

Концептуализация выравнивания бизнеса и ИТ осуществляется через модель стратегического выравнивания, которая является важнейшим фактором в этой области. В статье приведены и проанализированы разработанные модели и методы, применяемые в области выравнивания бизнеса и ИТ.

Ключевые слова: выравнивание, ИТ-стратегии, бизнес стратегии, модель стратегического выравнивания.

PORAVNANJE POSLOVANJA I INFORMACIONE TEHNOLOGIJE

Milosav N. Majstorović

Visoka škola strukovnih studija za informacione tehnologije,
Beograd, Republika Srbija

OBLAST: informatika

VRSTA ČLANKA: pregledni članak

JEZIK ČLANKA: engleski

Više od dve decenije neophodnost poravnanja poslovnih potreba i mogućnosti informacione tehnologije (IT) razmatra se kao jedno od ključnih pitanja u upravljanju IT-om. Istraživanja u oblasti poravnanja poslovanja i IT dobijaju na zamahu u poslednjoj deceniji prošlog veka, kada se uvidelo da je isplativost ulaganja u IT u direktnoj funkciji tzv. strategijskog poravnanja, tj. poravnanja između strategije poslovanja i strategije IT-a. Uvidelo se da IT menja pravac u kojem kompanije organizuju njihove poslovne procese, komunikaciju sa kupcima i isporuku svojih proizvoda i servisa.

Cilj ovog rada je istraživanje trenutnog stanja u rešavanju problema poravnanja poslovanja i IT, kako bi se poredile različite definicije, i predstavila konceptualizacija ovog fenomena, kao i sagledavanje napora koji se čine radi rešavanja ovog problema. Konceptualizacija fenomena poravnanja poslovanja i IT predstavljena je kroz strategijski model poravnanja koji je imao najveći uticaj na ovu oblast. Pitanje primenljivosti modela i okvira razvijenih radi poravnanja sledi iz izazova koji stoje pred problemom poravnanja poslovanja i IT. Ovi izazovi su kategorisani i posebno elaborirani u radu.

Ključne reči: poravnanje, IT strategija, poslovna strategija, strategijski model poravnanja.

Paper received on / Дата получения работы / Datum prijema članka: 12. 10. 2015.
 Manuscript corrections submitted on / Дата получения исправленной версии работы /
 Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 03. 11. 2015.
 Paper accepted for publishing on / Дата окончательного согласования работы / Datum
 konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 05. 11. 2015.

© 2016 The Author. Published by Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier
 (www.vtg.mod.gov.rs, втр.мо.унр.срб). This article is an open access article distributed under the
 terms and conditions of the Creative Commons Attribution license
 (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2016 Автор. Опубликовано в "Военно-технический вестник / Vojnotehnički glasnik / Military
 Technical Courier" (www.vtg.mod.gov.rs, втр.мо.унр.срб). Данная статья в открытом доступе и
 распространяется в соответствии с лицензией "Creative Commons"
 (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2016 Autor. Objavio Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (www.vtg.mod.gov.rs,
 втр.мо.унр.срб). Ovo je članak otvorenog pristupa i distribuiru se u skladu sa Creative Commons
 licencom (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).



WEB APPLICATION SECURITY ANALYSIS USING THE KALI LINUX OPERATING SYSTEM

Ivan M. Babincev^a, Dejan V. Vuletic^b

^a Serbian Armed Forces, Technical test center,
Belgrade, Republic of Serbia,
e-mail: babincev1301@gmail.com,

ORCID iD:  <http://orcid.org/0000-0002-3994-9032>

^b Ministry of Defence of the Republic of Serbia, Defence Policy Sector,
Strategic Research Institute, Belgrade,
e-mail: dejan.vuletic@mod.gov.rs,

ORCID iD:  <http://orcid.org/0000-0001-9496-2259>

DOI: 10.5937/vojtehg64-9231

FIELD: Computer Sciences

ARTICLE TYPE: Professional Paper

ARTICLE LANGUAGE: English

Abstract:

The Kali Linux operating system is described as well as its purpose and possibilities. There are listed groups of tools that Kali Linux has together with the methods of their functioning, as well as a possibility to install and use tools that are not an integral part of Kali. The final part shows a practical testing of web applications using the tools from the Kali Linux operating system. The paper thus shows a part of the possibilities of this operating system in analysing web applications security, which presents the goal of this work.

Key words: security, web applications, Kali Linux.

Introduction

Web applications contain many vulnerabilities that can compromise integrity of web pages, reveal confidential information and disrupt the operation of the application itself. Although there are different mechanisms of protection, new vulnerabilities are revealed daily and attackers can use them for various attacks.

Due to the emergence of new security threats in the area of cyber security, the creators of the BackTrack operating system created a new, specialized Linux distribution intended for Penetration testing, called Kali Linux.

Kali Linux operating system

Born and released on March 13th, 2013, *Kali Linux* is based on Debian and an FHS-compliant filesystem. (Muniz, Lakhani, 2013). Debian was created in 1993 as a Linux distribution. It is completely democratically organized, in hands of community, and its users are generally enthusiasts and Linux experts, because Linux administration, in comparison to other operating systems, is more complicated. *Filesystem Hierarchy Standard (FHS)* defines the structure of folders and it is primarily intended for Unix programmers.

Kali has many updated tools, synchronized four times a day. This means that users have the latest package updates and security fixes. Kali Linux is essentially a Linux distribution intended for penetration testing. Kali Linux has many possibilities and different types of tools - it can test network security, security of operating systems, communications, applications, etc. It can be downloaded from the Internet in a few different ways.

Kali Linux can be used in a virtual environment, by installation on a virtual machine. Also, it can be run without installation software on the hard disk, accessing an external source such as a USB or DVD. However, this is not reliable, due to a negative effect on the setup and operations of some tools. Because of its speed, accuracy and other performances, it is highly recommended to install Kali Linux on a host hard drive.

There is a possibility of parallel existence and use of two operating systems on one computer, the *dual boot* method, which is desirable for Windows users and Linux beginners. It is recommended to install Kali Linux in a virtual machine. This paper uses the VMWare Workstation 10 virtualization software and the Kali Linux 1.0.7 operating system.

Kali Linux offers many customized tools designed for penetration testing, categorized in the following groups, (Muniz, Lakhani, 2013), as seen in Figure 1:

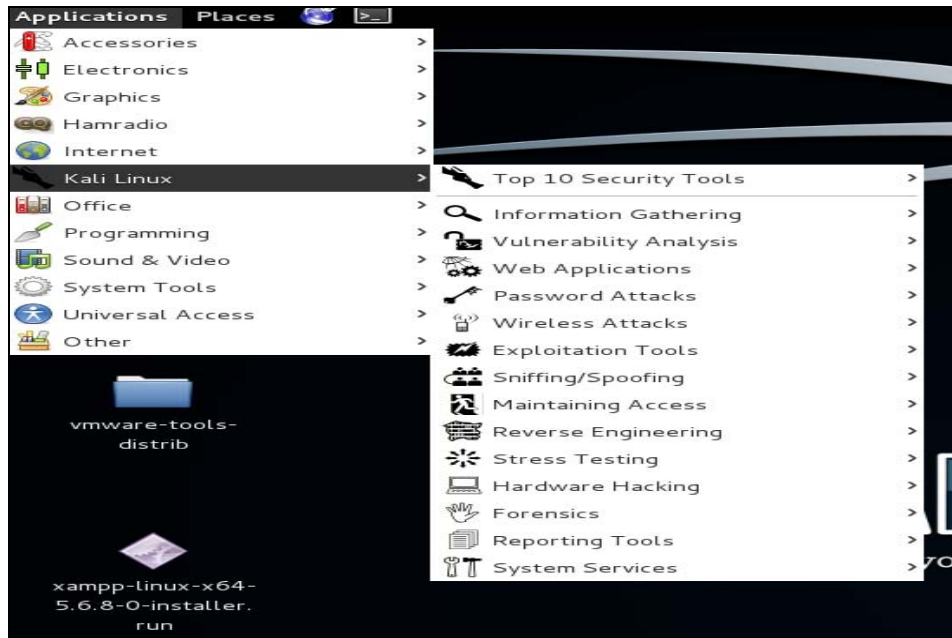


Figure 1 – Kali Linux group tools
 Рис. 1 – список инструментов Kali Linux
 Slika – 1 Grupa alata Kali Linux-a

- **Information Gathering:** these are reconnaissance tools, used to gather data on target networks and devices. Tools range from identifying devices to protocols used.
- **Vulnerability Analysis:** tools from this section focus on evaluating systems for vulnerabilities. Typically, these are run against systems found using the tools from the previous section.
- **Web Applications:** these are tools used to audit and exploit vulnerabilities in web servers. However, these tools do not always refer to attacks against web servers, they can be web-based tools for testing network services.
- **Password Attacks:** this section of tools is primarily used for performing Brute force attacks on passwords used for authentication.
- **Wireless Attacks:** these tools are used to exploit vulnerabilities found in wireless protocols. In most cases, tools from this section require a *wireless* adapter that can be configured by the Kali Linux operating system, to be put in a particular operation mode.

- **Exploitation Tools:** these are tools used to exploit vulnerabilities found in systems.
- **Sniffing and Spoofing:** these are tools used for network packet captures and network packet manipulation.
- **Maintaining Access:** tools to be used after establishing access to the target network or system. They provide alternative paths and approaches, if the vulnerability used for access by attacker is found and removed.
- **Reverse Engineering:** the purpose of these tools is analyzing how a program was developed so it can be copied, modified, or so that it can lead to development of other programs. Reverse engineering is also used for malware analysis or by researchers in discovering vulnerabilities in software applications.
- **Stress Testing:** these tools are used to evaluate how much data a system can handle. Undesired outcomes could be obtained, such as causing a device controlling network communication to open all communication channels or a system shutting down (also known as a denial of service attack).
- **Hardware hacking:** this section contain Android tools, which could be classified as mobile, and Arduinio tools that are used for programming and controlling other small electronic devices.
- **Forensics:** forensics tools are used to monitor and analyze computer network traffic and applications.
- **Reporting Tools:** these tools serve to deliver information found during a penetration exercise.
- **System services:** this is where Kali Linux services can be enabled or disabled.

Using Kali Linux tools in Web application testing

A web application containing vulnerabilities threatens the security of a database and the entire computer system, because the web page must be constantly available to provide services to users. Firewall and other similar programs do not provide protection against malicious activities in such a case, because web applications often have direct access to user databases, but also must be available outside the local network, so it is difficult to ensure security. One of the main problems is to detect web application vulnerabilities before attackers exploit them. (CARNet, 2007), (CARNet, 2008).

Vulnerability scanning uses various tools, both commercial ones and those available on the Internet, which are free for using. The main

advantage of commercial tools is the automatization of the scanning process offered by almost all commercial versions. The efficiency of each tool depends on the content to be searched, but most tools can conduct basic vulnerability scanning. By studying the basic features of tools, it is easy to find a suitable scanner that should be used to search vulnerabilities of individual applications.

It is recommended to start the specific tools and test web applications to detect and correct security holes prior to its use. Kali Linux is an excellent solution that contains many tools intended for scanning vulnerabilities and web application security testing. This article covers tools: Burp Suite, XSSer, Nessus, Nikto and Vega. Damn Vulnerable Web Application and Mutillidae application are used as test applications.

Burp Suite

Burp Suite is an integrated platform for performing security testing of web applications (Burp Suite, nd). Its various tools support the entire testing process. It allows the combination of advanced manual techniques and automated attacks that accelerate the testing process and make it more effective. Burp Suite includes the following tools:

- *Proxy* – analyzes and modifies the traffic between the browser and the target application. It intercepts and modifies HTTP traffic, easily analyzes content and manipulates requests sent to the server by a client;
- *Spider* – analyzes the traffic that goes through the Proxy server and sends requested content to other Burp Suite tools. It keeps the entire work and allows the operation to continue where it stopped the last time;
- *Scanner* – scans web applications. It provides a complete control of the scanned content and displays the results of scanning;
- *Intruder* – allows performing improvised attacks that exploit vulnerabilities;
- *Repeater* – tool for modifying HTTP requests and analyzing the received responses;
- *Sequencer* – tool for testing randomness of session tokens of applications;
- *Decoder* – simple tool for encoding and decoding text strings;
- *Comparer* – this tool is used to compare data, for example to compare two or more HTTP responses;
- *Extender* – allows different extensions of the functionalities of the *Burp Suite* platform.

Burp Suite can be run in two ways:

- by typing the *burpsuite* command in the terminal,
- under *Applications | Kali Linux | Web Applications | Web Application Fuzzers | burpsuite*.

After launching *Burp Suite*, this launch dashboard will be presented: (Figure 2).

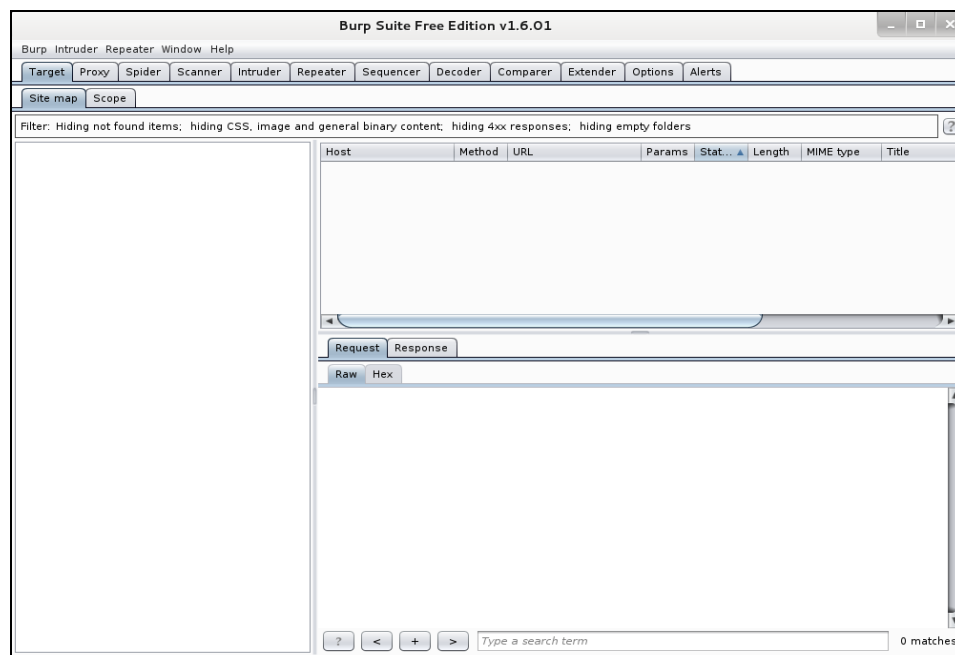


Figure 2 – Burp Suite – initial screen

Рис. 2 – Burp Suite – начальный экран

Slika 2 – Burp Suite – početni ekran

This paper describes a tool *Intruder*, which is used to perform an automated brute force attack on the *dvwa* (*damn vulnerable web application*) test application. Before performing the attack, it is necessary to configure *Proxy*. It is necessary to set the IP address and the port on which Proxy works, the localhost address and a specific port number. These settings should match the settings of the web browser (Figure 3).

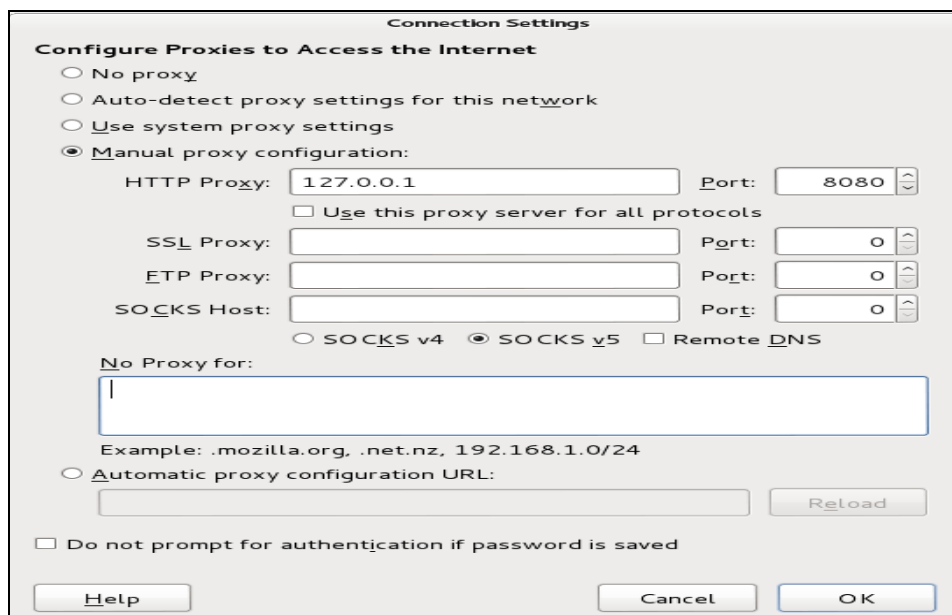


Figure 3 – Proxy server configuration
 Рус. 3 – Настройки Proxy-сервера
 Slika 3 – Podešavanje Proxy servera

As seen in Figure 3, Iceweasel uses the HTTP Proxy server active on port 8080 and the IP address of the localhost, 127.0.0.1. *Burp Suite Proxy* must be configured in the same way. It is necessary to select *Options* on the tab *Proxy* and enter the required parameters. After that, it is necessary to enable *Intercept* on the same tab, to intercept requests sent to the server. By a click on the *Brute Force* tab in the *dvwa* application, the authentication window shows up.

By a click on *login* after entering the username and the password, the authentication request will be sent to the server through *Burp Proxy*, and Proxy will intercept that request. As a result, the intercepted request will be displayed on the tab *Intercept* in the *Burp Suite* platform. In the next step, the request is sent to the *Intruder*. It is necessary to mark the areas over which the attack will be executed, and to select a type of attack.

After creating the list of possible usernames and passwords, the attack is launched (Figure 4).

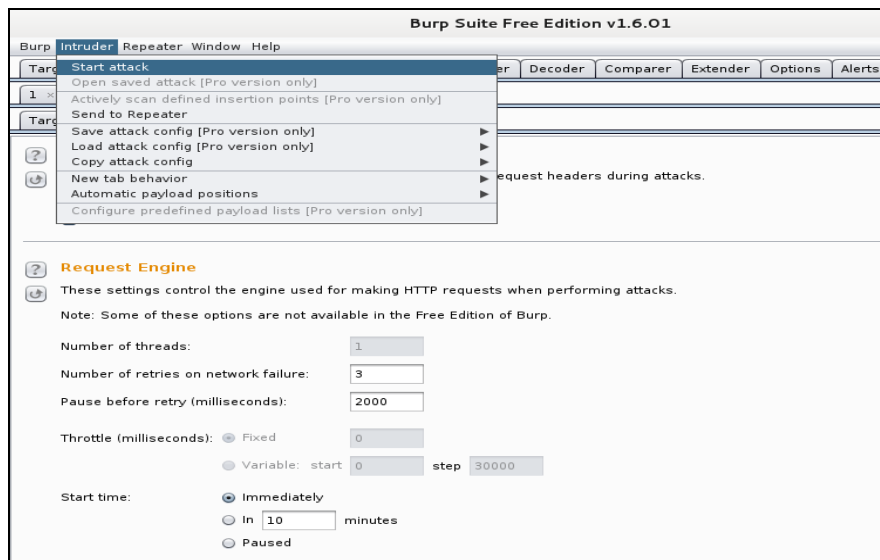


Figure 4 – Burp Suite - launch attack
 Puc. 4 – Burp Suite – запуск атаки
 Slika 4 – Burp Suite – realizacija napada

Figure 5 shows the results of an automated brute force attack. The attack was successfully executed, the username is *admin* and the password is *password*.

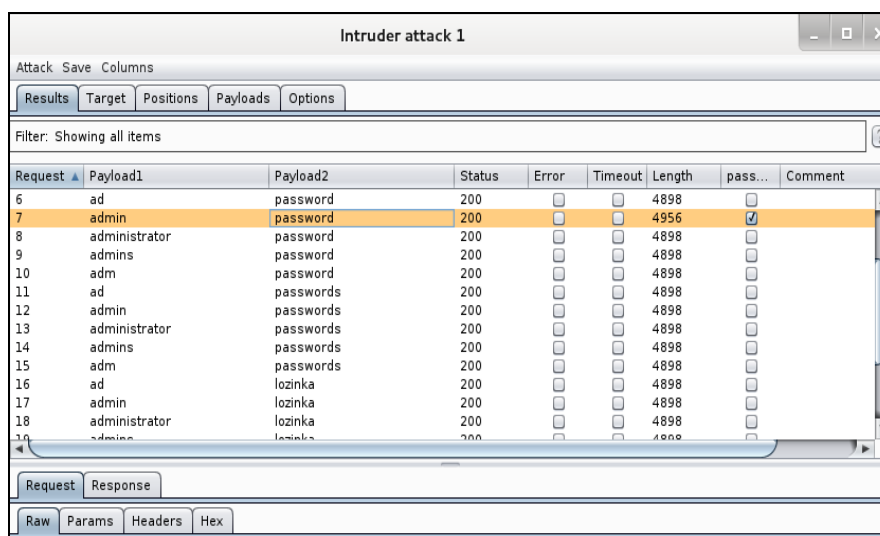


Figure 5 – Burp Suite – results shown
 Puc. 5 – Burp Suite – отчет результатов
 Slika 5 – Burp Suite – prikaz rezultata

XSSer

XSSer is an open source tool used for penetration testing. (<http://xsser.03c8.net/>). It automates the process of detection and exploitation of XSS vulnerability on a web site or application (XSSer, nd). By typing the `xsser --gtk` command into the terminal, the initial XSSer screen shows up (Figure 6). It can also be accessed without typing commands, by clicking on the tab Applications | Kali Linux | Web Applications | Web Application Fuzzers | xsser.

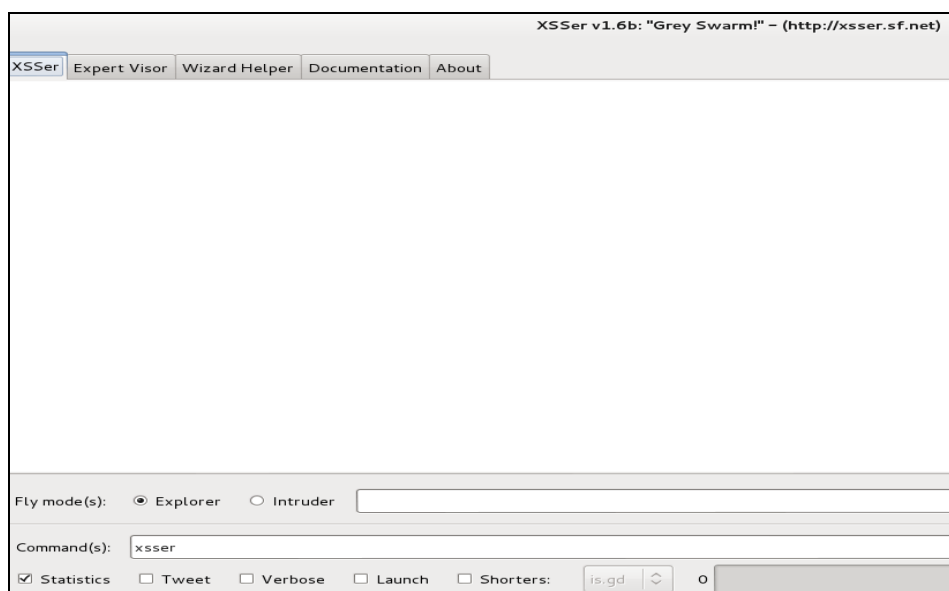


Figure 6 – XSSer – initial screen
 Рис. 6 – XSSer – Начальный экран
 Slika 6 – XSSer – početni ekran

Before starting the attack, it is necessary to set certain parameters in the URL of the site or the tested application. After displaying the startup screen, it is necessary to click on the Expert Visor tab, choose Visor (s) and set the Connect option to ON (include connection). Then, mark the Intruder, enter the target URL and mark the Automatic.

After that, click on the button Aim!, then the button FLY!!! and XSSer will begin attack. As a result of the attack, a list of possible XSS injections will be displayed after certain time (Figure 7).

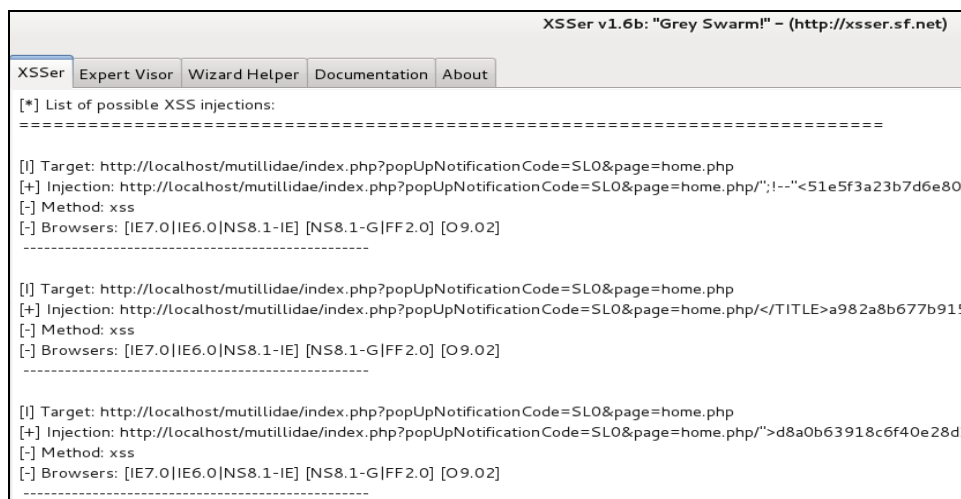


Figure 7 – XSSer – overview of a possible injection
Рис. 7 – XSSer – отчет о возможных XSS инъекциях
Slika – XSSer – prikaz mogućih XSS injekcija

Nessus

Nessus is a free tool for scanning and finding vulnerabilities in computer systems. Nessus supports over 50,000 plugins for detection of various types of vulnerabilities. A plugin typically contains information about the vulnerabilities, guides the user to confirm the existence of certain vulnerabilities and gives instructions for their removal.

Using the Nessus tool on the Kali Linux operating system requires an additional installation of Nessus, because Nessus does not belong to the set of tools contained in Kali Linux. After downloading the installation file, the installation is launched from the terminal (Figure 8), by typing the command *dpkg-i* in front of the file name.

Nessus operates using the Web server and the Nessusd server. The web server communicates with the Nessusd server and it is used for configuring and monitoring the scanning process, while the Nessusd server contains a plugins database and realizes the scanning process (Chuming, Manton, 2004).

```

root@kalisa: ~/Desktop
File Edit View Search Terminal Help
root@kalisa:~# cd Desktop
root@kalisa:~/Desktop# ls
LATEST-mutillidae-2.6.19.zip      vmware-tools-distrib
Nessus-6.3.7-debian6_amd64.deb  vmware-tools-distrib
VMwareTools-9.6.0-1294478.tar.gz xampp-linux-x64-5.6.8-0-installer.run
root@kalisa:~/Desktop# dpkg -i Nessus-6.3.7-debian6_amd64.deb
(Reading database ... 339337 files and directories currently installed.)
Preparing to replace nessusd 6.3.7 (using Nessus-6.3.7-debian6_amd64.deb) ...
$Shutting down Nessus : .
Unpacking replacement nessusd ...
Setting up nessusd (6.3.7) ...
Unpacking Nessus Core Components...
nessusd (Nessus) 6.3.7 [build M20026] for Linux
Copyright (C) 1998 - 2015 Tenable Network Security, Inc

Processing the Nessus plugins...
[#####]
All plugins loaded (34sec)

```

Figure 8 – Nessus – installation

Puc. 8 – Nessus – установка

Slika 8 – Nessus – instalacija

A click on the New Scan displays a page with different types of scans that Nessus can realize (Figure 9), which shows a wide range of its capabilities. As shown in Figure 9, Nessus supports web application testing.

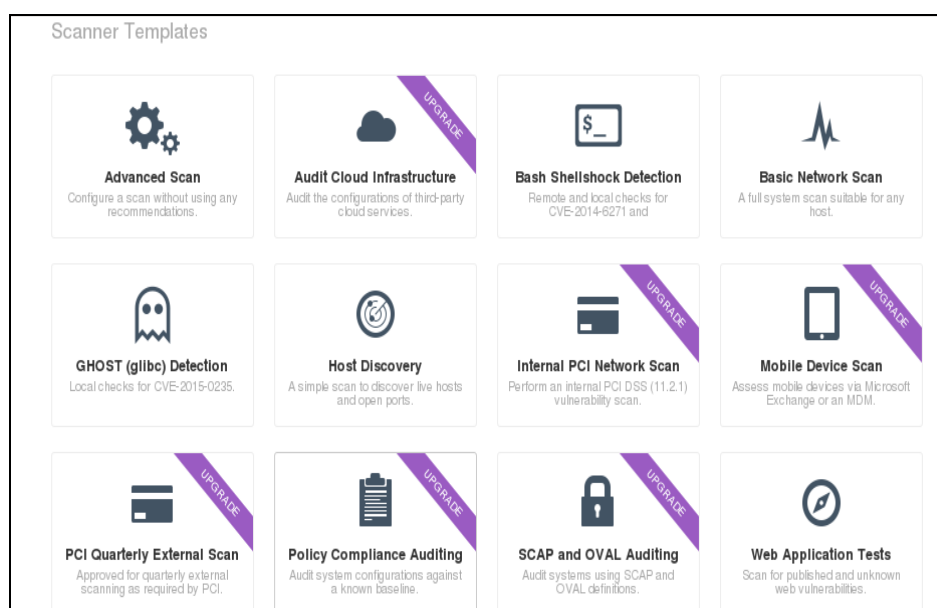


Figure 9 – Nessus – some of the possibilities

Puc. 9 – Nessus – некоторые возможности

Slika 9 – Nessus – neke od mogućnosti

A click on the Web Application Tests displays a page where the user has to set certain parameters and perform settings (Figure 10). The BASIC card allows entering the name of scanning, the description and the targeted URL address. The Mutillidae application is used as a test application. Using Schedule options and Email Notifications, Nessus allows periodical scanning and reporting via e-mail.

Figure 10 – Nessus – data entry
 Puc. 10 – Nessus – ввод данных
 Slika 10 – Nessus – unos podataka

Nikto

Nikto is a very popular open source tool for testing web application security. It is written in the *Perl* programming language. Nikto is platform independent, so it can work on both Windows and Linux. Nikto's tools are based on a Perl module called *libwhisker* that allows finding *CGI* scripts on web servers. The Libwhisker module is included in the standard Nikto software package, but it is advisable to regularly update it with new versions (CARNet, 2003).

Although it can be treated as deficiency, Nikto uses the CLI, which is suitable for the remote start of the tool, using an SSH connection. There is no graphical user interface. It is designed so that it does not require a graphical access to the system to install and run. During the scan, Nikto sends a large number of requests to the server and then analyzes the received responses. Nikto is capable of sending data in the form of HTTP requests so it can test the XSS (Cross Site Scripting) and SQL Injection vulnerabilities.

After starting, Nikto will begin scanning and results will be displayed in the terminal (Figure 11).

```

+ OSVDB-637: /mutillidae/index.php/~root/: Allowed to browse root's home directory.
+ /mutillidae/index.php/cgi-bin/wrap: comes with IRIX 6.2; allows to view directories
+ /mutillidae/index.php/forums//admin/config.php: PHP Config file may contain database IDs and passwords.
+ /mutillidae/index.php/forums//adm/config.php: PHP Config file may contain database IDs and passwords.
+ /mutillidae/index.php/forums//administrator/config.php: PHP Config file may contain database IDs and passwords.
+ /mutillidae/index.php/forums/config.php: PHP Config file may contain database IDs and passwords.
+ /mutillidae/index.php/guestbook/guestbookdat: PHP-Gastebuch 1.60 Beta reveals sensitive information about its c
+ /mutillidae/index.php/guestbook/pwd: PHP-Gastebuch 1.60 Beta reveals the md5 hash of the admin password.
+ /mutillidae/index.php/help/: Help directory should not be accessible
+ OSVDB-2411: /mutillidae/index.php/hola/admin/cms/htmltags.php?datei=./sec/data.php: hola-cms-1.2.9-10 may revea
+ OSVDB-3233: /mutillidae/index.php/horde/test.php?mode=phpinfo: Horde allows phpinfo() to be run, which gives de
+ OSVDB-3233: /mutillidae/index.php/imp/horde/test.php?mode=phpinfo: Horde allows phpinfo() to be run, which give
+ OSVDB-8103: /mutillidae/index.php/global.inc: PHP-Survey's include file should not be available via the web. Co

```

Figure 11 – Nikto - results shown in the terminal
Puc. 11 – Nikto – отчет выявленных результатов
Slika 11 – Nikto – prikaz rezultata u terminalu

Based on the displayed results, the application is vulnerable. If the user uses the command -o (output) and determines the output file, the results will be saved in the output file. In this case, the results are stored in the file testic.html. Opening the testic.html file using the web browser allows an access to the scan results, which are presented in the form of web pages (Figure 12).

localhost / 127.0.0.1 port 80	
Target IP	127.0.0.1
Target hostname	localhost
Target Port	80
HTTP Server	Apache/2.2.22 (Debian)
Site Link (Name)	http://localhost:80/mutillidae/index.php/
Site Link (IP)	http://127.0.0.1:80/mutillidae/index.php/
URI	/mutillidae/index.php/
HTTP Method	GET
Description	Retrieved x-powered-by header: PHP/5.4.41-0+deb7u1
Test Links	http://localhost:80/mutillidae/index.php/ http://127.0.0.1:80/mutillidae/index.php/
OSVDB Entries	OSVDB-0
URI	/mutillidae/index.php/
HTTP Method	GET
Description	The anti-clickjacking X-Frame-Options header is not present.
Test Links	http://localhost:80/mutillidae/index.php/ http://127.0.0.1:80/mutillidae/index.php/
OSVDB Entries	OSVDB-0
URI	/mutillidae/index.php/
HTTP Method	GET
Description	Uncommon header 'logged-in-user' found, with contents:

Figure 12 – Nikto – presentation of the report in the Icceweasel browser
Puc. 12 – Nikto – отчет в браузере Icceweasel
Slika 12 – Nikto – prikaz izveštaja u Icceweasel pretraživaču

Vega

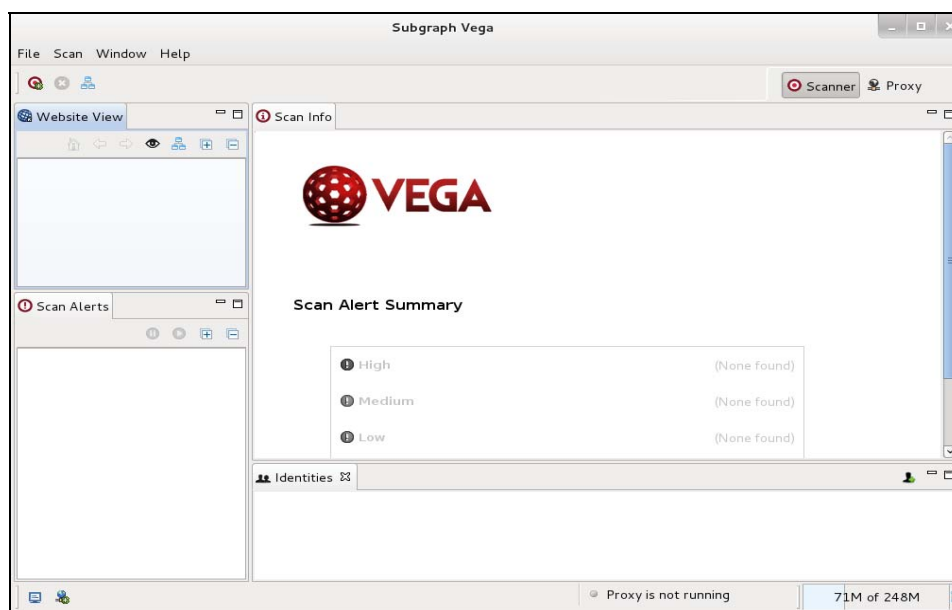
Vega is a free tool designed to test the security of web applications. It is used to check the vulnerability of web applications such as SQL Injection, Cross-Site Scripting (XSS), Cross-Site Request Forgery (CSRF) and many others. It is written in the programming language Java, contains a graphical environment and runs on various operating systems (<https://subgraph.com/vega/>).

Vega contains an automated scanner that conducts vulnerability testing. According to many sources, this is one of the best free tools for vulnerability assessment.

Vega has a very simple graphical environment. With the launch of the new scanning and entering the target URL, the preparation for web applications scanning is completed. Vega can be run in one of two ways:

- typing the *vega* command into the terminal,
- clicking on Applications | Kali Linux | Web Applications | Web Vulnerability Scanners | Vega,

The initial screen is displayed after start (Figure 13).



Slika 13 – Vega – početni ekran
 Figure 13 – Vega – initial screen
 Рис. 13 – Vega – начальный экран

Vega contains *Scanner* and *Proxy* buttons in the upper right corner of the initial screen. Clicking on the *Scanner* button in the upper right corner and then clicking on the *Scan* button in the upper left corner will display a window to enter the targeted URL address (Figure 14).

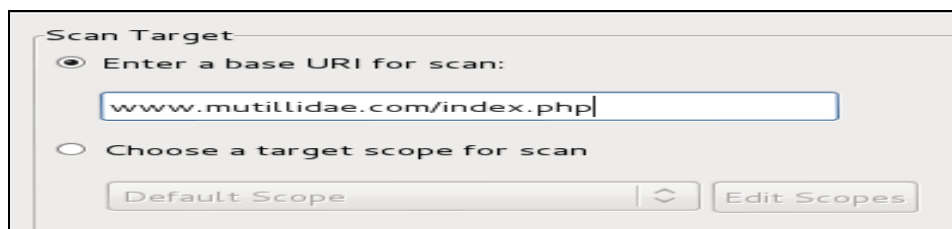


Figure 14 – Vega – entry of the targeted URL

Рис. 14 – Vega – ввод целевого URL

Slika 14 – Vega – unos ciljanog URL-a

The next step is to select a specific scanning mode so that vulnerability can be tested (Figure 15).

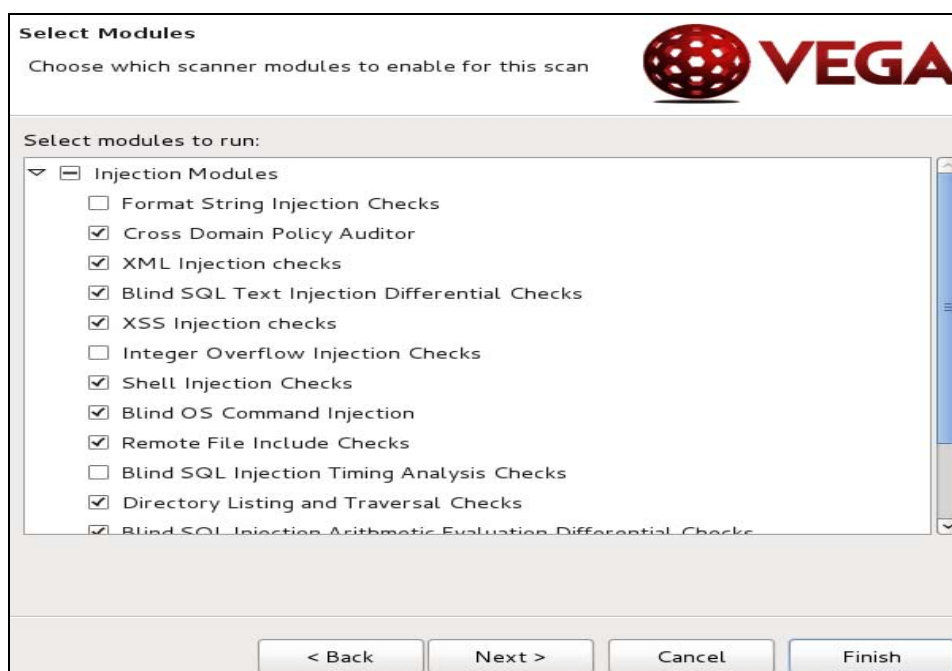


Figure 15 – Vega - ways of scanning

Рис. 15 – Vega – способы сканирования

Slika 15 – Vega – načini skeniranja

During scanning, the Vega groups discovered vulnerabilities according to the level of risk. Website View in the upper left corner shows the tested applications and other URL addresses associated with the tested applications (Figure 16). The Scan Alerts window in the lower left corner displays the categories of the discovered vulnerabilities (Figure 16).

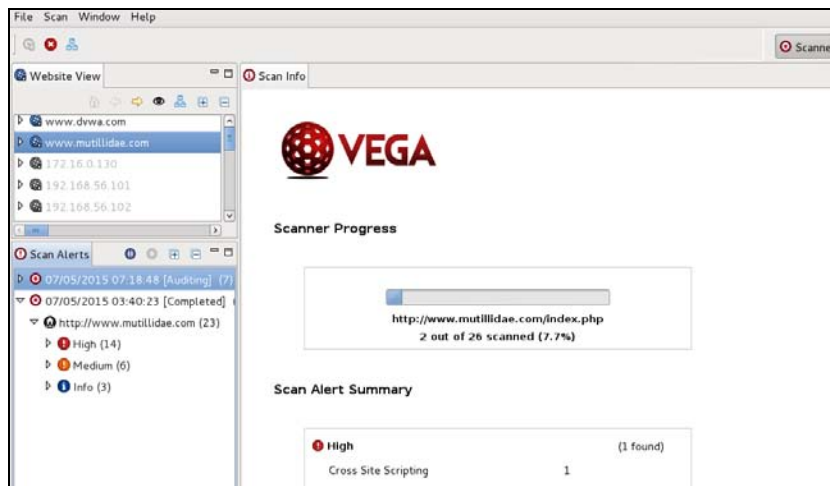


Figure 16 – Vega – scanning
Рис. 16 – Vega – сканирование
Slika 16 – Vega – skeniranje

As a scanning result, Vega will present a report on the discovered vulnerabilities. The vulnerabilities are grouped according to the level of risk to the tested application (Figure 17).

Scan Alert Summary		
High		(10 found)
Cross Site Scripting	2	
Shell Injection	2	
Local File Include	1	
SQL Injection	1	
Integer Overflow	3	
Page Fingerprint Differential Detected - Possible XPath Injection	1	
Medium		(3 found)
Local Filesystem Paths Found	2	
URL Injection	1	
Low		(None found)
Info		(5 found)
Character Set Not Specified	2	
X-Frame-Options Header Not Set	2	
Cookie HttpOnly Flag Not Set	1	

Figure 17 – Vega – report
Рис. 17 – Vega – отчет
Slika 17 – Vega – izveštaj

Conclusion

The paper describes different tools used for security testing and finding vulnerabilities in web applications. All tools are an integral part of the Kali Linux operating system, except Nessus, which is additionally installed thus showing a possibility of upgrading Kali Linux with new tools. This article shows how the tools operate, demonstrates practically how to configure and use different tools, and which vulnerabilities were discovered using these tools. This paper presents only a part of the Kali Linux operating system possibilities in the analysis of the web application security. It is shown that the Kali Linux operating system is very efficient, considering the fact that it contains enough tools to implement a complete web application test. Although this paper describes only five, it should be noted that Kali Linux contains over thirty tools for testing web applications.

For a detailed web application test, it is necessary to use all the tools available. Detecting XSS, SQL injection and other vulnerabilities is a laborious and time-consuming job. Therefore, it is useful to have several automated scanners which will conduct an analysis of the application and prepare a report for a relatively short period of time. The number of vulnerabilities will be higher or lower, depending on the tools. Discovered vulnerabilities should be manually checked.

Although automated scanners facilitate the work of conducting web application tests, they have a deficiency since they are not able to independently decide on the appropriate action to be taken on the basis of the semantics of the content viewed and analyzed. For now, this can be performed only by the user, but tools with this ability are being developed.

It is important to emphasize that it is not advisable to use only one tool in the analysis of web application security. Scans show a lot of fake vulnerabilities and some of them are not detected. The experience and knowledge of the person who conducts testing is a crucial factor for quality and a complete analysis of web applications.

References

- Burp Suite. . . Preuzeto sa <https://portswigger.net/burp/>
- CARNet. 2003. *Analiza Nikto CGI Skenera*. Zagreb: Hrvatska akademska istrazivacka mreza., str. 2-9.
- CARNet. 2007. *Analiza Nessus alata*. Zagreb: Hrvatska akademska istrazivacka mreza., str. 5-25.
- CARNet. 2008. *Usporedba besplatnih alata za ispitivanje sigurnosti Web aplikacija*. Zagreb: Hrvatska akademska istrazivacka mreza., str. 5-20.
- Chuming, C., & Manton, M. 2004. A Web Interface for Nessus Network Security Scanner. U: International Conference on Internet Computing, Las Vegas, Nevada, USA, str. 383-389 p. 383-389.

Muniz, J., & Lakhani, A.(2013). *Web Penetration Testing with Kali Linux*. Preuzeto sa <https://www.packtpub.com/networking-and-servers/web-penetration-testing-kali-linux>
 Vega Preuzeto sa <https://subgraph.com/vega/>
 XSSer Preuzeto sa <http://xsser.03c8.net/>

АНАЛИЗ БЕЗОПАСНОСТИ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ ОПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМОЙ KALI LINUX

Иван В. Бабинцев^а, Дејан В. Вулетић^б

^а ВРСР, Центр технического тестирования, Белград, Республика Сербия,

^б Министерство обороны Республики Сербия,
 Институт стратегических исследований, Белград

ОБЛАСТЬ: компьютерные науки

ВИД СТАТЬИ: профессиональная статья

ЯЗЫК СТАТЬИ: английский

Резюме:

В статье дается описание операционной системы Kali Linux, включая цели и возможности ее использования. Приведен список инструментов системы Kali Linux, способ работы ее конкретных инструментов, а также возможность установки и использования инструментов, которые не являются частью операционной системы Kali Linux. В заключительной части статьи, наглядно представлено тестирование веб-приложений с применением инструментов операционной системы Linux Kali. Таким образом, представлена часть возможностей Kali Linux операционной системы, применяемой для анализа безопасности веб-приложений, что являлось целью данной работы.

Ключевые слова: безопасность, Веб-приложения, Kali Linux.

ANALIZA BEZBEDNOSTI WEB APLIKACIJA OPERATIVNIM SISTEMOM KALI LINUX

Ivan M. Babincev^а, Dejan V. Vuletić^б

^а Vojska Srbije, Tehnički opitni centar, Beograd, Republika Srbija,

^б Ministarstvo odbrane Republike Srbije, Sektor za politiku odbrane,
 Institut za strategijska istraživanja, Beograd

OBLAST: računarske nauke

VRSTA ČLANKA: stručni članak

JEZIK ČLANKA: engleski

Sažetak:

U radu je opisan operativni sistem Kali Linux , njegove namene i mogućnosti. Navedene su grupe alata kojima Kali Linux raspolaže, način rada određenih alata koje ovaj sistem sadrži, kao i mogućnost instalacije i korišćenja alata koji nisu njegov sastavni deo. U završnom delu rada praktično je prikazano testiranje web aplikacija korišćenjem alata iz operativnog sistema Kali Linux. Time je prikazan deo mogućnosti ovog operativnog sistema u analizi bezbednosti web aplikacija, što predstavlja cilj ovog rada.

Ključne reči: *bezbednost, web aplikacija, Kali Linux.*

Paper received on / Дата получения работы / Datum prijema članka: 08. 10. 2015.
 Manuscript corrections submitted on / Дата получения исправленной версии работы /
 Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 30. 10. 2015.
 Paper accepted for publishing on / Дата окончательного согласования работы / Datum
 konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 02. 11. 2015.

© 2016 The Authors. Published by Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (www.vtg.mod.gov.rs, втр.мо.унр.срб). This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2016 Авторы. Опубликовано в "Военно-технический вестник / Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier" (www.vtg.mod.gov.rs, втр.мо.унр.срб). Данная статья в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией "Creative Commons" (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2016 Autori. Objavio Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (www.vtg.mod.gov.rs, втр.мо.унр.срб). Ovo je članak otvorenog pristupa i distribuirano se u skladu sa Creative Commons licencom (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).



NUCLEAR TERRORISM

Srdjan Z. Rutic

Army of Serbia, Training Command, CBRN Centre,
Kruševac, Republic of Serbia,
e-mail: srdjan.rutic@gmail.com

ORCID iD:  <http://orcid.org/0000-0001-5304-646X>

DOI: 10.5937/vojtehg64-7515

FIELD: CBRN protection

ARTICLE TYPE: Professional Paper

ARTICLE LANGUAGE: English

Summary:

The paper has analyzed different manifestations of terrorism with nuclear weapons and ionizing radiation as a special kind of terrorism. Possibilities that terrorist groups come into possession of nuclear weapons and apply them for terrorist purposes have been analysed. The forms and methods of terrorist activities with nuclear means have been given as well. It has been concluded that nuclear terrorism includes various forms of threats, including not only nuclear weapons but also the sources of ionizing radiation used for terrorist purposes. It has been also shown that the International Atomic Energy Agency (IAEA) and the countries signatories of the Treaty on the Nonproliferation of Nuclear Weapons and other international treaties seek to be an insurmountable obstacle to terrorist organizations aiming at the purchase of nuclear materials and equipment necessary for the construction of nuclear weapons.

Key words: *weapons, nuclear terrorism, nuclear weapons, terrorism.*

Introduction

A concise and accurate definition of terrorism cannot be determined. There are several definitions in literature. The USA government defines terrorism as premeditated, politically motivated violence against civil targets, done by ethnic groups or secret services with intention to attract public attention. In his book "Terrorism and free state", Paul Willkinson defines terrorism as "systematic killing and destruction of goods with the aim to intimidate individuals, groups, communities, and governments in order to achieve political aims" (Willkinson, 1986). Professor Milan Mijalkovski in his book "Terrorism of Albanian extremists" (Mijalkovski, Damjanov, 2002) pointed out to the problems in the determination of terrorism in different bibliographic sources.

According to a general definition from Vujaklija's Dictionary of Foreign Words, terrorism comprises a doctrine, methods and means of causing fear and insecurity to citizens through systematic violence. It stems from this definition that terrorism is any kind of action which induces fear in a particular group of people.

Terrorism is today spreading steadily throughout the world despite more and more organized efforts of the international community to take measures to combat it. It spreads and improves its technological level, with increasing efficiency. Modern technological development characterizing the 21st century also puts nuclear assets into the hands of terrorists. The permanent rise in deaths from terrorism can be seen in Figure 1.

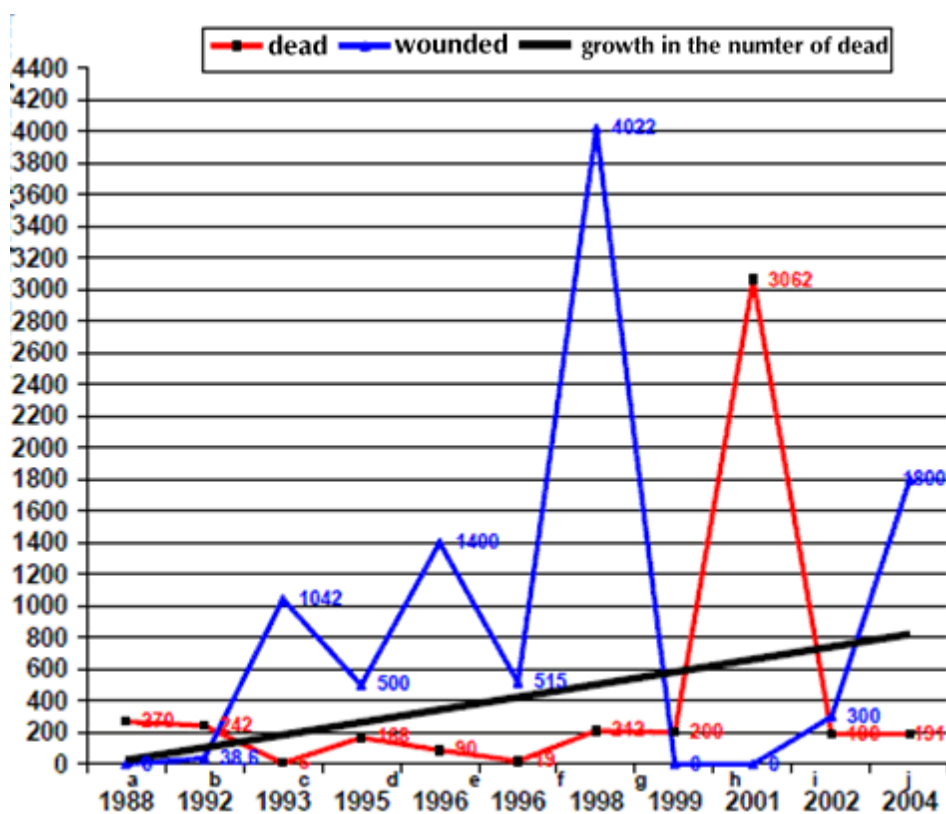


Figure 1 – The number of the **dead** and the **wounded** in terrorist attacks 1998-2004 (Ferguson, 2004)

Рис. 1 – Количество **погибших** и **раненых** в терактах 1998-2004 (Ferguson, 2004)

Slika 1 – Broj **mrtvih** i **ranjenih** u terorističkim napadima 1998–2004 (Ferguson, 2004)

Terrorism is possible to have conventional, unconventional, ecological and cyber forms (Figure 2). Although conventional terrorism is the prevalent form across the world, the danger from unconventional, ecological and cyber terrorism cannot be neglected (Gaćinović, 2012).

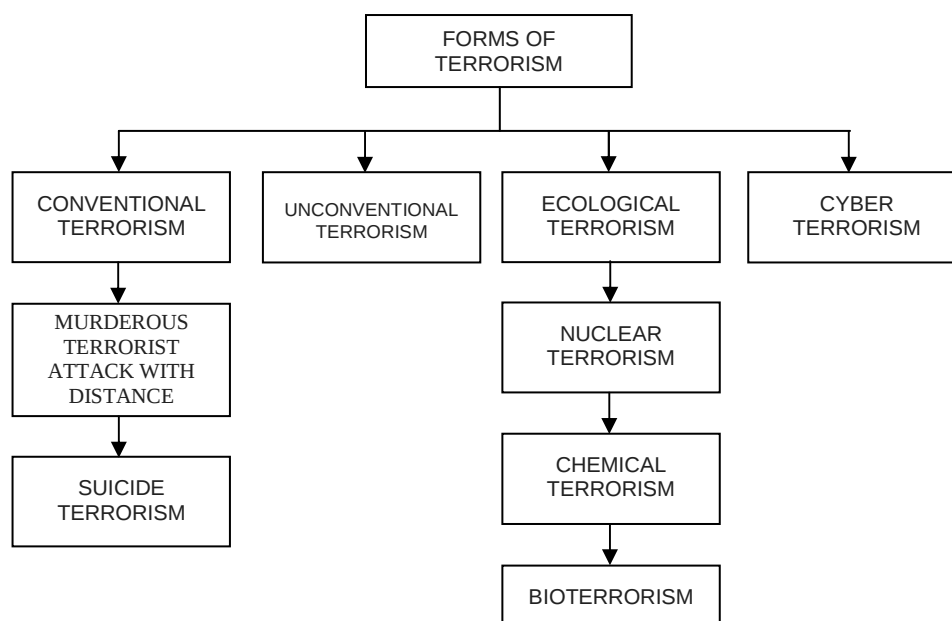


Figure 2 – Forms of terrorism (Gaćinović, 2012)

Рис. 2 – Формы терроризма (Gaćinović, 2012)

Slika 2 – Oblici terorizma (Gaćinović, 2012)

Nowadays, the nuclear arms race in order to achieve power and domination both at global and regional levels is proliferating. Not only legal countries but also terrorist and criminal organizations tend to acquire nuclear weapons in order to accomplish their goals. This kind of weapons is used to threaten other countries as a means of achieving political and other aims.

Nationalistic and ethnical groups, urban guerillas, and even some countries will continue to try to achieve their national, political, religious, social and government aims using terrorism with a new dimension of possible usage of WMD.

Nuclear terrorism and terrorism with ionizing radiation

A nuclear terrorist attack is an attack in which a terrorist organization uses a nuclear device or radioactive material to cause mass destruction and damage. A nuclear terrorism attack involves a usage or a threat of using radioactive materials. Nuclear weapons can provide significant benefits to terrorists such as a large number of victims and the focus of attention of the world media. Western countries are particularly suspicious of blackmails of terrorists about undertaking a nuclear attack. Decision makers have no possibility to fully comprehend to what extent terrorists are really ready to carry out their threats.

The basic aim of nuclear terrorism is mass destruction of people, goods and widespread contamination in order to accomplish aims of terrorist organizations. Until recently, the threat of terrorist “nuclear action” seemed unlikely, due to the counter-productivity of mass killing nonselectivity.

Therefore, it was considered that terrorists’ primarily use of nuclear devices is not for killing a lot of people but for attracting a lot of attention and general insecurity. However, terrorists probably will not think of consequences, which should be taken into consideration when discussing real dangers of nuclear terrorism. It is obvious that this new danger should be in a particular focus of different international organizations, all well-organized states, i.e. armies, police forces, numerous experts and various social organizations.

Terroristic organizations can get radioactive material on the black market. Radioactive material can be bought from other countries, especially from revolutionary ones that support terrorism. Plutonium is the most common radioactive material obtained as a side product, for which resources and training are needed.

Terrorist organizations can get nuclear weapons in many ways; they neither have ethical issues nor are afraid of a possible nuclear answer or damage to their national interests in response to their attack. All this makes terrorist organizations dangerous.

A terrorist attack on a nuclear facility can cause nuclear contamination with serious consequences. (Radiological contamination during the accident in the Chernobyl reactor affected many European countries and a part of Asia, Figure 3).



Ris. 3 – Радиоактивное загрязнение после Чернобыльской катастрофы
(Amidžić, 2006)

(Amidžić, 2006)

Slika 3 – Radiološka kontaminacija posle Čerobiljske katastrofe (Amidžić, 2006)

- use of nuclear explosive devices (nuclear explosions),
- attacks or sabotage in the existing nuclear facilities, and
- use of dirty bombs (conventional explosions by which radioactive material is dispersed into the environment) (Figure 4).



Figure 4 – Model of a suitcase – dirty bomb (Biočanin, 2005)
 Рис. 4 – Модель „Чемодан – грязная бомба” Biočanin, 2005)
 Slika 4 – Model „kofer – prljave bombe” (Biočanin, 2005)

Risk assessment is very important when analyzing each of the given terrorist action methods. When assessing risks, it is necessary to foresee the efficiency of the actions and consequences of each method at an expert level as well the probabilities of their occurrence (Gaćinović, 2012).

The most important factors while assessing the risk from nuclear weapons and sources of ionizing radiation used for terrorist purposes are probability factors (securing medical institutions and other potential sources, number of radiological sources, development of nuclear programs at regional levels, complying with international agreements on non-proliferation, etc.), influence factors (crisis management, availability of equipment for ionizing radiation dosimetry, economic influence, etc.) and other factors.

During WMD risk assessments, risks must be evaluated from two standpoints: the first one is a qualitative approach to the risk which investigates the characteristics of a possible risk, i.e. intensity and seriousness of the event consequences, and the second one is a quantitative approach used to determine the likelihood of the event. (Čaldarović, 1995).

A risk is determined as a product of state actors, groups (non-state actors, substate actors) and hostile unaffiliated individuals that have a tendency to acquire WMD and a possibility that they possess it. In other words, a risk is always present when such entities have

access to these weapons. An additional risk factor includes means for transport of these weapons (weapons – carriers), especially long range ballistic missiles, that can perform „projection of fear and power“ (Power Projection), inflicting casualties and physical damage from great distance (Kamp, 2004).

It is important to emphasize that a WMD danger analysis cannot be based on the mere fact that some country has WMD. This fact is crucial, but it must be combined with intentions and strategies. For example, the fact that France and the UK have nuclear weapons does not present a risk for their European allies, because they already have traditionally friendly relations with them and there is no assumption of nuclear threat to any other European state. In order to understand the risk of WMD proliferation, it is necessary to understand the situation that can force the states that possess WMDs to use them against the European Union.

The third element in risk assessment is international legal instruments. A threat that can be diminished by applying these instruments is smaller than the one to which these instruments are not applicable, which is the greatest difference between the state actor threats and those coming from non-state actors. Therefore, a threat assessment is performed by analysing all these elements and their relations to the European Union (Klasan, 2012).

Manifestations of nuclear terrorism

Since nuclear terrorism is an activity carried out by means of high technology, it was considered, almost to the end of the twentieth century, that it was highly unlikely to occur since radioactive materials are generally well protected, expensive and dangerous, so they used to be difficult to acquire and possess, as well as to be expertly handled and kept in secret. However, at the beginning of the 21st century, the situation changed completely. Today's availability of information has made nuclear technology available to thousands of scientists in developing countries, which, with uncontrolled acquisition of nuclear materials on the black market and weak international control, poses a major threat. Also, designing an atomic bomb is fairly easy since information is available in scientific literature and state archives.

At the end of the twentieth century, civilian factories were producing annually 500 tons of plutonium-239, while for a bomb that can destroy a medium-size town it takes only ten kilograms of plutonium. The Washington Nuclear Surveillance Institute presents the information that for a bomb the strength of which is equal to the one thrown at Nagasaki is enough 14 kilograms of highly enriched Uranium or 9 kilograms of

Plutonium. When the application of these isotopes for terrorist purposes and their danger to civilian population is concerned, plutonium toxicity is of significant importance. According to the fatal toxicity scale, plutonium is 20,000 times more dangerous than cobra poison or potassium cyanide. Only one inhaled particle, size of a pin head, can result in death after a few days, and smaller amounts can cause cancer (Biočanin, 2004, p.136).

Instead of using atomic bombs, terrorists may poison people with plutonium dust. If only a few grams of plutonium is put into a water supply tank, water will become highly radioactive, or it will be unusable for drinking, thus representing a risk to people's lives. In addition to plutonium, radionuclides such as strontium, polonium, radium, actinium, and iodine-131 are particularly dangerous as well as all other radionuclides used in civilian organizations (for industrial and medical purposes) and nuclear power plants.

A very soluble chemical substance known as uranyl-nitrate, commonly used in chemical laboratories, can be also used for the contamination of water supply systems.

A very significant aspect of nuclear terrorism presents an attack on nuclear facilities (power plants, reactors) to take them under control so that they can be used for blackmailing, threatening, instilling fear among local population as well as for attracting publicity. In these situations, antropogenic catastrophes can be created and expressed as a large scale accident with heavy casualties. There were roughly 508 nuclear accidents from 1993 to 1999 worldwide, which presents more than one per each of 434 nuclear objects in the world. It is known that the first commercial nuclear reactor was built in Sellafield and opened by Queen Elizabeth II. It has been working for more than 54 years although initially it had been planned to work for 25 years. Great Britain is the first European country that decided to close one of its reactors – Dounreay near Thurso in north Scotland. Its closure process will last for 100 years and will cost approximately 740 million pounds (Gaćinović, 2005, p.130).

During the aggression on Serbia, NATO used nuclear violence against all citizens of the Republic of Serbia, and American General Michael Short, head of the NATO Air Force operations in that period, stated: „War cannot be gained if we do not destroy a possibility of normal life for most of the citizens. We must take them water, electricity, food, and even the healthy air“. During that war, NATO fired over 30,000 projectiles with depleted uranium, which is about 17 tones of uranium, and the uranium halflife time is 4.5 billion years (Andrić, Krsmanović, 2000, p.127). The locations in Serbia where the munition with depleted uranium was used during NATO bombings in 1999 are shown in Figure 5.



Figure 5 – Sites in Kosovo and southern Central Serbia where NATO aviation used forbidden munition with depleted uranium during the 1999 bombing

Рис. 5 – Дислокации в Косово и юге Центральной Сербии, где воздушные силы НАТО использовали запрещенные боеприпасы с обедненным ураном во время бомбардировок 1999г.

Slika 5 – Lokacije na Kosovu i Metohiji i jugu centralne Srbije na kojima je NATO avijacija koristila zabranjenu municiju sa osiromašenim uranijumom tokom bombardovanja 1999. godine

Modern genetics says that such high concentrations of uranium can leave consequences in the human organism even after 60 generations after the exposure. Radiologists warn that one alpha particle can induce one cancer cell which, by the cloning theory, does not destroy just tissue but life itself. The fact that one company near New York was closed because it used to release 500 g of uranium in the air monthly confirms that the USA has a policy of protecting their own citizens. Only one

projectile fired from an A10 aircraft has 300 g of uranium - the Serbian territory was covered with over 30,000 of such projectiles during NATO air strikes, which presents a serious life-long threat to many Serbian citizens.

Since World War II, the world has not been able to escape nuclear weapon threats in spite of signed agreements. Only in the second half of 20th century, 514 air nuclear explosions and 1,600 underground nuclear explosions occurred. The Missile Technology Control Regime was established in 1983 with the aim of preventing an increase of the number of countries which possess technologies for nuclear missile production (Taylor, Horgan, 2000, p.113).

According to Theodore Taylor, the author of arguably the most comprehensive study about the dangers of nuclear terrorism, the only problem in nuclear bomb production is nuclear material; however, it can be procured on the black market with enough financial means.

A nuclear component of international terrorism is now reality which all countries must take into consideration. Nowadays, at the beginning of 21st century, small but very dangerous weapons are being produced, e.g. there are 0.1 KT nuclear bombs weighing only 37 kg (Gaćinović, 2012). There are indications that the USA and Russia possess nuclear weapons of a very small strength of 0.1 KT whose weight is just 27 kg. These are two types of weapons, SM-50 and D-444, which could be a great danger if they become available to terrorists.

Nuclear weapons are weapons with the most destructive effects. Unlike chemical and biological weapons, they can cause massive destructions to civil engineering structures and infrastructures. On the one hand, biological weapons, if used in a certain way, could be more dangerous than nuclear ones. On the other hand, if they are detected in time, it is easier to defend civilian population from biological and chemical weapons than from nuclear weapons. Chemical weapons must be used in large quantities to achieve similar lethal effects like nuclear and biological weapons. Against well protected targets, they could have even less deadly effects than conventional weapons. Because of a great dependence on weather and protection levels, the effects of chemical and biological weapons are less predictable than those of nuclear weapons. Figure 6 presents the effects of nuclear, chemical and biological weapons, with a presumption of using a nuclear bomb with a mass of 1000 kg and strength of 12.5 KT, 300 liters of Sarin and 30 kg of Antrax for a territory of 3,000-10,000 citizens/km².

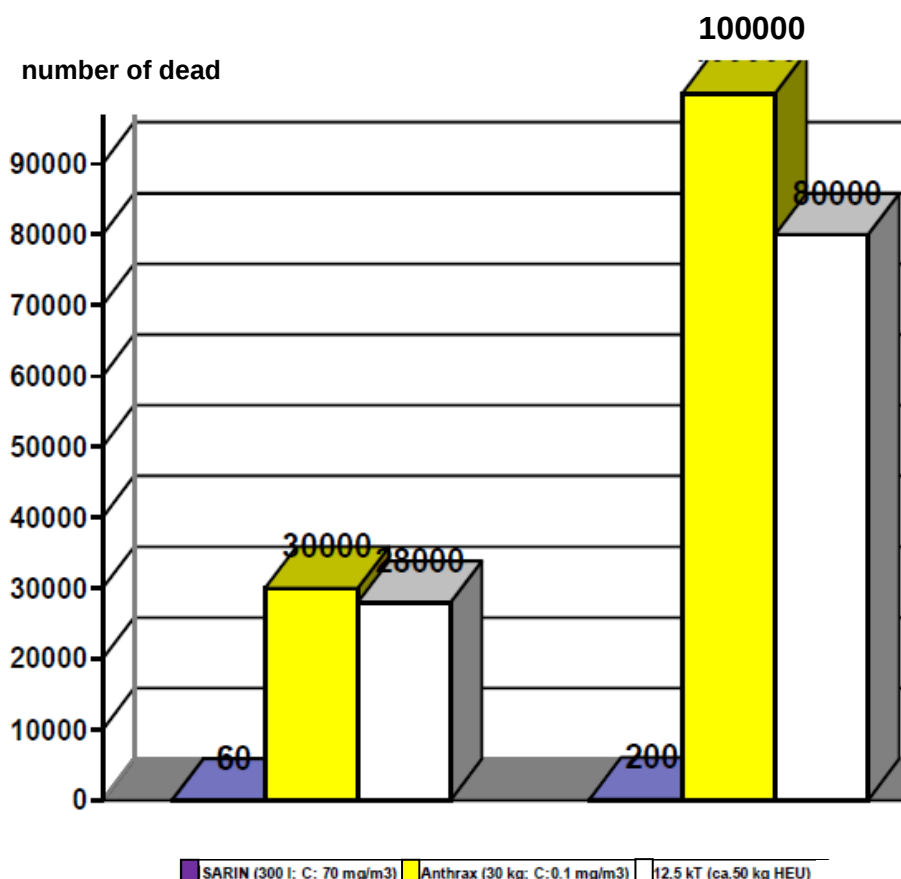


Figure 6 – Lethal effects of chemical, biological and nuclear weapons (Cordesman, 2002).

Рис. 6 – Эффекты поражающего действия химического, биологического и ядерного оружия Cordesman, 2002).

Slika 6 – Efekti ubojnog dejstva hemijskog, biološkog i nuklearnog oružja (Cordesman, 2002).

Today's information explosion makes nuclear technology available to thousands of scientists from developing countries, which, with uncontrolled smuggling of nuclear material on the black market and weak international control, presents a great danger. Generally, making a nuclear bomb is quite simple, and information about that is available in literature and national archives. In 1976, Aristotel Filips, a student of the third year of nuclear physics at Princeton university, USA, made a project paper in which he showed how easy it was to make a nuclear **bomb**

using a DIY approach. His work is full of detailed plans of production and nuclear weapon experts concluded that such a bomb would be very effective. Bomb shape: sphere, radius: 60 cm, mass: 38 kg, production price (plutonium not included): 2,000 dollars, strength: 1/3 strength of the bomb dropped on Hiroshima.

To make a nuclear weapon, it is necessary to have a certain amount of fission explosive. Fission explosives are usually enriched uranium – 235 (^{235}U) and plutonium – 239 (^{239}Pu); uranium – 233 (^{233}U) can also be used. Uranium – 233 is the most appropriate for small explosive devices such as tactical nuclear bombs. The quality of fission explosive is very important. The least content of fission isotopes in the material for making nuclear weapons is in a range of 10 – 20 %. Uranium with enriching content of more than 20% for ^{235}U is designated as highly enriched uranium (HEU). Uranium used for this purpose is usually enriched 90 % for ^{235}U . The critical mass (mass of the fission material needed for maintaining a chain fission reaction) is necessary for nuclear weapons production. The following values of the critical mass are needed for nuclear weapon construction: 10 – 15 kg ^{235}U , about 5 kg of ^{239}Pu and 4.5 kg of ^{233}U . With enrichment decreasing, the critical mass of ^{235}U increases, which is not so important for ^{239}Pu (Lazarević, et al., 2003).

Nuclear weapon construction based on plutonium has its own difficulties:

- mechanical shaping of plutonium is more complex than shaping of uranium,
- the complex implosive technique for creating an explosion is needed for plutonium, while for uranium simple techniques can be used,
- for a plutonium nuclear bomb, it is necessary to carry out previous research, while the first uranium bomb was used without previous research.

Nuclear material can get into the hands of terrorists by hijacking during the transport of nuclear material from countries that have nuclear weapons, by illegal leaking over secret channels from nuclear reactors or via the black market of nuclear material.

Highly enriched uranium is especially interesting for terrorists because of a few reasons: it can be used in a simple nuclear weapon in which plutonium cannot be used, it is less radioactive and dangerous for handling than plutonium, and it is easier for transporting, stocking and turning into a weapon.

Nowadays, the following countries possess nuclear weapons: the USA, Russia, Great Britain, France, Israel, China, India, Pakistan and South African Republic while potential producers are: Brazil, Argentina, Mexico, Japan, Canada, Italy, South Korea and Iraq. Beside the mentioned nuclear weapons, there are over 600 nuclear reactors for

production of electrical energy and science research worldwide. There are numerous sensitive spots on nuclear reactors where terrorists can secretly take out nuclear material. This method of supplying necessary amounts of nuclear material for nuclear weapon construction is done unnoticeably in a long period of time.

In an incident in 1992, the amount of 1.5 kg of 90 % enriched uranium was stolen from a production plant in Podolsk (Russia).

In an incident in 1994, the amount of 3 kg of 90 % enriched uranium was stolen in Moscow.

The Czech police took almost 3 kg of enriched uranium in Prague in December 1994.

Only during 1993 and 1994 in Germany, more than 300 cases of smuggling of radioactive material were discovered, which worried Western Europe because of a possibility that nuclear WMD can be sold to interested countries or international terrorist groups. Smugglers of radioactive materials were discovered in Italy, and in 1997 in Skopje, Macedonia, three people were arrested under suspicion that they were smuggling highly radioactive uranium. During that operation, 250 g of uranium was found in one apartment.

During a theft of nuclear material in the Cheljin region, the Russian official report stated that there was enough amount of nuclear material to produce a nuclear bomb. That is the only theft of nuclear material described in that way.

The Japanese sect "Aum Sinrikjo", responsible for poisoning thousands of people in the Tokyo metro, tried to dig uranium in Australia in 1995 and to buy nuclear warheads in Russia. In one media story in Sunday Times (6.10.2002, London), it was written that reporters (Justin Sparks and Peiter Konradi), under false identity, made an agreement to buy a radio therapeutic device from the owner of one Czech company. The bought device (with 70 g of Co) was to be sent to help a project in Nigeria. Nuclear experts claim that, with that amount of Co, terrorists could contaminate the London city center.

The incident in Moscow in November 1995, when Chechen terrorists hid a small amount of cesium – 137 (radioactive substance used in medical and industrial purposes) in a park, serves as proof that a possibility of using different nuclear materials is not insignificant. Luckily, they did not know how to activate it. Had that amount of cesium been spread, the whole park would have been contaminated with a low level of radiation; what is more important is the psychological effect which would have been accomplished. In 1950s and 1960s, the technology of production and application of combat radioactive materials and radioactive poison gases was developing. Both of the mentioned weapons were based on the usage of radioactive waste.

Forms and methods of protection against nuclear terrorism

The international community has been trying to gain control over nuclear weapons for years through different forms of international agreements and organizations, in order to stop their use in war actions, but also to erase a possibility of its falling into hands of terroristic organizations. The International Atomic Energy Agency (IAEA) was formed in 1957. With the development of nuclear energetics, there appeared a danger of uncontrolled spreading of nuclear weapons among countries that had not possessed them previously. The Agreement on Non-Proliferation of Nuclear Weapons (Nuclear Nonproliferation Treaty) was signed in July 1968, and two years later it entered into force. It is believed that this agreement is essential in preventing the spread of nuclear weapons (Šuković, 2004, pp.291-308). It was signed for the duration of 25 years but in 1995 it was changed to last without limit and it became obligatory for the countries that had nuclear weapon at that time (USA, USSR, Great Britain, France and China). On the meeting held on July 31st 1985, organized by the IAEA, 84 states-members of Nuclear Nonproliferation Treaty agreed on nonproliferation guarantees. India, Pakistan and Israel did not sign this document, so they gained their nuclear status without breaking this international obligation. North Korea withdrew from the Treaty before getting its nuclear status, in 1993. This Agreement is aimed to prevent the spread of nuclear weapons and to encourage negotiations on effective measures to suspend the race for nuclear armament and general disarmament under strict international control. The Agreement has been signed by 200 countries.

However, the IAEA was not a sufficient barrier to prevent the spread of nuclear weapons. Economic barriers were not insurmountable obstacles either, because every country that has a peaceful nuclear program can allocate sufficient financial and human resources for the production of nuclear weapons. The most important measures for preventing the spread of nuclear weapons and preventing the secret removal of material from plants are:

- keeping records on the amount of nuclear material,
- measures to protect nuclear facilities and nuclear materials, and
- control measures.

For controlling the amount of nuclear material, a term “material balance zone” was introduced. It is defined as a zone inside and outside a nuclear facility (where the flow of material is being performed) in which a material balance must be obtained. Material amount control was significantly simplified and improved by importing special devices capable of evaluating the amount of fission material in nuclear facilities. Specific protection measures concern measures such as: physical protection,

construction of special transport containers for transport of nuclear material and other constructive solutions that have the task to increase the protection of nuclear material. Control measures comprise information gathered by special devices on nuclear facilities and the control of nuclear material amounts exerted by supervising inspectors of the IAEA. Although the work of the agency depends a lot on national bodies for achieving a balance of nuclear material, the Agency itself also performs independent controls and procedures. Guarantees do not encompass nuclear materials obtained in ore extraction and processing. All states are obliged to inform the IAEA on every exchange of materials containing uranium, plutonium and thorium, with countries that do not possess nuclear weapons, excluding cases of exchange of non-nuclear materials. By combining technical and organizational obstacles, security of civil nuclear facilities is increased, including stronger measures of physical security of nuclear facilities, which presents a real approach to the problem of preventing nuclear proliferation. Different devices, including ionizing radiation detectors, placed at entrance and exit spots as well as all over a nuclear facility, can present efficient means for discovering a covert transfer of nuclear material out of the facility (Lazarević, et al., 2003).

Conclusion

Terrorism is a major problem of the modern society and an obstacle to the development of the modern world. Simultaneously with the development and progress of the mankind in technical, financial and cultural terms, terrorism also develops, but at a faster pace. Terrorism is constantly changing its form, content, types and forms of organization, methods of operation, technical equipment, etc. Nuclear terrorism incorporates various forms of threats, which may include not only nuclear weapons but also the sources of ionizing radiation applied for terrorist purposes. The main objective of nuclear terrorism is to use nuclear weapons for mass destruction of people, material goods and for contamination of large areas, in order to achieve the goals of terrorist organizations.

The use of nuclear weapons for terrorist purposes is possible and realistic, taking into consideration that the level of technical knowledge in the world is growing, that the methods of making such devices are available to the public in a variety of professional scientific journals and that the access to nuclear materials has become increasingly easier.

The International Atomic Energy Agency (IAEA) through the Non-Proliferation of Nuclear Weapons and other international treaties, together with the signatory countries, tends to be an insurmountable obstacle to terrorist organizations for the purchase of nuclear material and equipment necessary for the construction of nuclear weapons.

In the incoming period, in order to improve the protection against a possible use of nuclear materials for terrorist purposes, it is necessary that the Signatory Countries:

- apply protective measures in accordance with the Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons,
- consistently implement the provisions of the Protocol to the Agreement between the signatory states and the International Atomic Energy Agency on the application of protective measures with regard to the Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons.

References

- Amidžić, B., & Biočanin, R. 2006. Monitoring i zaštita vodnih resursa. U: 33. nacionalna konferencija o kvalitetu, Kragujevac.
- Andrić, N., & Krsmanović, S. 2000. Ubijanje kao kolateralna šteta. *Novi glasnik, Beograd*, 5, str.127.
- Biočanin, R. 2004. Zaštita životne sredine u slučaju nuklearnih udesa i terorizma. *Vojno delo, Beograd*, 1, str.136.
- Biočanin, R., & Amidžić, B. 2005. Nuklearni udesi i zaštita. U: 49. konferencija za ETRAN, Budva.
- Cordesman, A.H. 2002. Terrorism, asymetric Warfare and Weapons of Mass Destruction., str.214.
- Čaldarović, O. 1995. *Socijalna teorija i hazardni život, Rizici i suvremeno društvo*. Zagreb: Školska knjiga.
- Ferguson, D.C. 2004. *The Four Faces of Nuclear Terrorism*. Monterey: Monterey Institute-Center for Nonproliferation Studies, Nuclear Threat Initiative., str.15.
- Gaćinović, R. 2005. *Terorizam*. Beograd: Draslar., str.130.
- Gaćinović, R. 2012. *Oblici savremenog terorizma*. Beograd: Institut za političke studije, Kriminalističko-policijska akademija.
- Kamp, K.H. 2004. *Vorbeugende Militäreinsätze (Preemptive Strikes): Eine neue sicherheitspolitische Realität*. Berlin: Arbeitspapier, Konrad - Adenauer - Stiftung e. V.
- Klasan, V. 2012. *Utjecaj proliferacije oružja za masovno uništavanje na sigurnost Evropske unije*.
- Lazarević, I., Senić, Ž., & Eminović, G. 2003. Terorizam NHB sredstvima, Kruševac. *Bilten ABHO*, 14.
- Mijalkovski, M., & Damjanov, P. 2002. *Terorizam albanskih ekstremista*. Beograd.
- Šuković, O. Razoružanje na raskršću. *Godišnjak, Beograd*, str.291-308.
- Taylor, M., & Horgan, J. 2000. *Terorizam u budućnosti*. Zagreb: Golden marketing., str.113.
- Willkinson, P. 1986. *Terrorism and the liberal state*. New York: University Press.

ЯДЕРНЫЙ ТЕРРОРИЗМ

Срджан З. Рутич

Вооруженные силы РС, Штаб по обучению, Центр РХБЗ, г. Крушевац, Республика Сербия

ОБЛАСТЬ: радиационная, химическая и биологическая защита

ВИД СТАТЬИ: профессиональная статья

ЯЗЫК СТАТЬИ: английский

Резюме:

В статье представлен обзор различных проявлений ядерного терроризма и терроризма с применением ионизирующего облучения, как особой формы терроризма. Проведен анализ возможностей доступа террористических группировок к ядерному оружию и его применения в терактах.

В статье описаны формы и методы борьбы с терроризмом и защиты от действия ядерного оружия. Сделаны выводы, что ядерный терроризм представляет разные формы угроз, связанных не только от ядерного оружия, но и от источников ионизирующего облучения.

В заключении представлена деятельность Международного агентства по атомной энергии (IAEA), направленная на борьбу с ядерным терроризмом через и другие международные соглашения, предотвращая таким образом возможность снабжения террористических организаций ядерными материалами и необходимым оборудованием для создания ядерного оружия.

Ключевые слова: оружие, ядерный терроризм, ядерное оружие, терроризм.

NUKLEARNI TERORIZAM

Srđan Z. Rutić

Vojaska Srbije, Komanda za obuku, Centar ABHO, Kruševac, Republika Srbija

OBLAST: zaštita od NHB oružja

VRSTA ČLANKA: stručni članak

JEZIK ČLANKA: engleski

Sažetak:

U radu se govori o načinima ispoljavanja terorizma nuklearnim oružjem i izvorima jonizujućeg zračenja kao posebnom vrstom terorizma. Analizirane su mogućnosti da terorističke grupe dođu u posed nuklearnog oružja i da ga primene u terorističke svrhe. Sagledani su oblici i metode zaštite od terorističkih dejstava nuklearnim sredstvima. Zaključeno je da nuklearni terorizam sadrži različite oblike pretnji koje mogu

uključivati ne samo nuklearno oružje već i izvore jonizujućeg zračenja u terorističke svrhe.

Međunarodna agencija za atomsku energiju (IAEA) i zemlje potpisnice, kroz Sporazum o neširenju nuklearnog oružja i druge međunarodne ugovore, nastoje da terorističkim organizacijama budu nepremostiva prepreka za nabavku neophodnih nuklearnih materija i potrebnih uređaja za konstrukciju nuklearnog oružja.

Uvod

Danas je terorizam u stalnom porastu, bez obzira na sve organizovanje suprotstavljanje međunarodne zajednice i na mere koje se preduzimaju radi njegovog suzbijanja. On se obnavlja i usavršava na sve višem tehnološkom nivou, a efikasnost mu se stalno povećava. Savremeni tehnološki razvoj, koji karakteriše XXI vek, stavio je u ruke terorista

Teroristički napadi nuklearnim oružjem i izvorima jonizujućeg zračenja

Nuklearni teroristički napad je onaj u kojem teroristička organizacija koristi nuklearnu napravu ili radioaktivni materijal kako bi prouzrokovala masovna ubistva i štete. Nuklearni terorizam prilikom napada uključuje upotrebu ili pretnju upotrebom radioaktivnih materijala. Nuklearno oružje može teroristima omogućiti znatne prednosti, kao što su veliki broj žrtava i fokusiranje pažnje svetskih medija. Zapadne zemlje su posebno sumnjičave prema učenama terorista u preduzimanju nuklearnog napada. Oni koji odlučuju nemaju načina da u potpunosti sagledaju koliko su teroristi stvarno spremni da ostvare svoje pretnje.

Definisana su tri osnovna principa delovanja:

- upotreba nuklearne eksplozivne naprave (nuklearna eksplozija),
- napad ili sabotaza na postojećim nuklearnim postrojenjima i
- upotreba tzv. prljave bombe – klasična eksplozija pomoću koje se radioaktivni materijal raspršuje u okolinu.

Način ispoljavanja terorizma nuklearnim sredstvima

Pošto je nuklearni terorizam aktivnost koja se sprovodi pomoću visoke tehnologije, smatralo se skoro do pred kraj XX veka da je to malo verovatna aktivnost, jer su radioaktivni materijali u principu dobro čuvani, skupi su i opasni, tako da ih je bilo teško nabaviti, imati u posedu, njima stručno rukovati i sve to držati u tajnosti. Međutim, na početku XXI veka situacija se u tom smislu u potpunosti promenila.

Nivo tehničkog znanja u svetu sve više raste, uputstva za izradu takvih naprava se javno objavljuju u raznim stručnim naučnim časopisima, a pristup nuklearnim materijalima postaje sve jednostavniji.

Pri kraju XX veka u svetu se u civilnim fabrikama proizvodilo godišnje 500 t plutonijuma-239, a za bombu koja može da uništi grad srednje veličine potrebno je samo deset kilograma plutonijuma.

Za trovanje stanovništva teroristi mogu upotrebiti i plutonijumsku prašinu. Ako se samo nekoliko grama plutonijuma ubaci u rezervoar vodovoda voda će postati visokoradioaktivna, odnosno biće neupotrebljiva za piće i predstavljaće rizik po živote ljudi. Pored plutonijuma, posebno su opasni radionuklidi: stroncijum, polonijum, radijum, aktinijum, jod-131 i svi ostali radionuklidi koji se koriste u civilnim organizacijama (za industrijske i medicinske svrhe) i nuklearnim postrojenjima.

Različiti su putevi pomoću kojih teroristi mogu doći do nuklearnih materijala – oružanim putem preko otmica u toku prevoza nuklearnog materijala koji organizuje država koja poseduje nuklearno oružje, ilegalnim oticanjem preko „tajnih kanala” iz nuklearnih reaktora nekih država ili preko „crnog tržišta” nuklearnog materijala.

Oblici i metode zaštite od terorističkih dejstava nuklearnim sredstvima

Međunarodna agencija za atomsku energiju (International Atomic Energy Agency, IAEA) formirana je 1957. godine.

Sporazum o neširenju nuklearnog oružja (Nuclear NonProliferation Treaty) potpisan je u julu 1968. godine, a dve godine kasnije stupio je na snagu. Smatra se da ovaj sporazum ima centralno mesto u režimu sprečavanja širenja nuklearnog oružja (Šuković, 2004, pp.291-308).

Ugovor je imao za cilj da spreči širenje nuklearnog oružja i da podstakne pregovore o efikasnim merama za obustavu trke za nuklearnim naoružavanjem i sveopštem razoružavanju pod strogom međunarodnom kontrolom. Sporazum je do danas potpisalo 200 država.

Međutim, IAEA nije bila dovoljna prepreka da se spreči širenje nuklearnog oružja. Takođe, ni ekonomske barijere nisu bile nesavladive prepreke, budući da svaka zemlja koja ima miroljubiv nuklearni program može izdvojiti dovoljne finansijske i ljudske resurse za proizvodnju nuklearnog oružja. Najvažnije mere za sprečavanje širenja nuklearnog oružja i sprečavanje tajnog iznošenja materijala iz postrojenja su:

- vođenje evidencije o količini nuklearnih materijala,
- mere zaštite nuklearnih postrojenja i nuklearnih materijala i
- mere kontrole.

Zaključak

Terorizam je veliki problem savremenog društva i prepreka na putu razvoja savremenog sveta. Istovremeno sa razvojem i napretkom čovečanstva, u tehničkom, materijalnom i kulturnom pogledu razvija se i terorizam, samo još bržim tempom. Neprestano se menja i po formi, sadržini, tipovima i oblicima organizovanja, načinima delovanja, tehničkoj opremljenosti i slično. Nuklearni terorizam sadrži različite oblike pretnji koje mogu uključivati ne samo nuklearno oružje već i izvore jonizujućeg zračenja primenjene u terorističke svrhe. Osnovni cilj nuklearnog terorizma jeste da se upotrebom nuklearnog oružja izvrši masovno uništavanje ljudi, materijalnih dobara i kontaminacija velikih površina, radi ostvarivanja ciljeva terorističkih organizacija.

Upotreba nuklearnog oružja u terorističke svrhe je moguća i realna, imajući u vidu da nivo tehničkog znanja u svetu sve više raste, da se načini izrade takvih naprava javno objavljuju u raznim stručnim naučnim časopisima i da je pristup nuklearnim materijalima postao sve jednostavniji.

Međunarodna agencija za atomsku energiju (IAEA) kroz Sporazum o neširenju nuklearnog oružja i druge međunarodne ugovore, zajedno sa zemljama potpisnicama teži da bude nesavladiva prepreka terorističkim organizacijama za nabavku neophodnih nuklearnih materijala i potrebnih uređaja za konstrukciju nuklearnog oružja.

Da bi se unapredila zaštita od moguće upotrebe nuklearnih materijala u terorističke svrhe u narednom periodu neophodno je da države potpisnice:

- primenjuju zaštitne mere u vezi sa Ugovorom o neproliferaciji nuklearnog oružja,*
- dosledno sprovode odredbe Dodatnog protokola uz Sporazum između nje i Međunarodne agencije za atomsku energiju o primeni zaštitnih mera u vezi sa Ugovorom o neproliferaciji nuklearnog oružja.*

Ključne reči: *oružje, nuklearni terorizam, nuklearno oružje, terorizam.*

Paper received on / Дата получения работы / Datum prijema članka: 07. 01. 2015.
 Manuscript corrections submitted on / Дата получения исправленной версии работы /
 Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 15. 03. 2015.
 Paper accepted for publishing on / Дата окончательного согласования работы / Datum
 konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 17. 03. 2015.

© 2015 The Author. Published by Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (www.vtg.mod.gov.rs, втр.мо.унр.срб). This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2015 Автор. Опубликовано в "Военно-технический вестник / Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier" (www.vtg.mod.gov.rs, втр.мо.унр.срб). Данная статья в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией "Creative Commons" (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2015 Autor. Objavio Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (www.vtg.mod.gov.rs, втр.мо.унр.срб). Ovo je članak otvorenog pristupa i distribuira se u skladu sa Creative Commons licencom (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).



ПРИКАЗИ
ОБЗОРИ
REVIEWS

18. МЕЂУНАРОДНА КОНФЕРЕНЦИЈА ICDQM-2015 (ПРИКАЗ ЗБОРНИКА РАДОВА)

Славко Ј. Покорни

Висока школа струковних студија за информационе технологије,
Београд, Република Србија

e-mail: slavko.pokorni@its.edu.rs,

ORCID iD:  <http://orcid.org/0000-0002-3173-597X>

DOI: 10.5937/vojtehg64-9126

ОБЛАСТ: менаџмент, квалитет, поузданост,

рачунарске науке, информационе технологије

ВРСТА ЧЛАНКА: приказ

ЈЕЗИК ЧЛАНКА: српски

Сажетак:

У овом приказу наводе се основне информације о укупним резултатима, значају, међународном програмском одбору и областима рада 18. међународне конференције „Управљање квалитетом и поузданошћу ICDQM-2015” и 6. међународне конференције „Управљање и инжењерство животног циклуса” (радови су на српском, енглеском и руском језику), која је одржана под истим називом ICDQM-2015. Представљени су број и структура радова обе конференције, а приказани само радови припадника Војске и Министарства одбране Републике Србије у секцијама: војно инжењерство, инжењерство квалитета, инжењерство поузданости, индустријско инжењерство, системско инжењерство, енергетска ефикасност и економична производња. На овој конференцији је било, до сада, највише објављених радова припадника Војске и Министарства одбране Републике Србије.

Кључне речи: квалитет, поузданост, војно инжењерство, конференција, приказ.

Увод

У Пријевору, код Чачка, у Истраживачком DQM центру је, од 25. до 26. јуна 2015. године, одржана 18. DQM међународна конференција „Управљање квалитетом и поузданошћу ICDQM-2015” (18th Inter-

national Conference Dependability and Quality Management ICQDM-2015) и, истовремено, 6. међународна конференција „Управљање и инжењерство животног циклуса” (6th DQM International Conference Life Cycle Engineering and Management)).

Организатор конференције је, као и до сада, DQM истраживачки центар (Истраживачки центар за управљање квалитетом и поузданошћу) из Пријевора код Чачка.

Конференција обухвата области: инжењерство квалитета, инжењерство поузданости, индустријско инжењерство, системско инжењерство, војно инжењерство, енергетска ефикасност и економична производња. До сада је у зборницима ове конференције публиковано 2142 рада.

Области ICDQM конференције веома су интересантне и значајне и за припаднике Војске Србије и Министарства одбране Републике Србије (МО), па на конференцији постоји и посебна област *Војно инжењерство* (уведена као секција пре 7 година), због значаја радова и континуитета учешћа припадника Војске и Министарства одбране.

Програмски одбори овогодишње конференције су исти као на прошлогодишњој конференцији (Pokorni, 2015), (ICDQM 2015).

И ове године је Комисија програмског одбора, од радова саопштених на прошлогодишњој конференцији, прогласила два најбоља рада – један из области академских истраживања, а један из области примењених истраживања у привреди. То су радови:

1. „Measuring Software Quality – State of the Art” чији је аутор *Parmond K, Kapur* из Amity International Business School, Amity University, Indija;

2. „Алати квалитета у управљању ризиком интегрисаног система менаџмента у поступку набавке у РБ Колубара” чији су аутори *Драган Миладиновић* и *Дејан Зекић* из РБ Колубара, Лазаревац.

За конференцију су штампана два зборника радова, а постоје и на ЦД-има. У зборницима има укупно 160 радова (као и прошле године) аутора из 7 земаља (прошле године 9).

У зборнику радова „18. DQM међународна конференција Управљање квалитетом и поузданошћу ICDQM2018” (на српском језику) објављено је 120 радова (прошле године 119), и то 2 пленарна саопштења, 38 радова у секцији инжењерство квалитета (Quality Engineering), 7 у секцији инжењерство поузданости (Reliability Engineering), 28 у секцији индустријско инжењерство (Concurrent Engineering), 13 у секцији инжењерство система (Systems Engineering), 26 у секцији војно инжењерство (прошле године 22), 3 у секцији енергетска ефикасност, и 3 у секцији економична производња (Lean Production). У овим секцијама је 7 радова аутора из Босне и Херцеговине, 4 из Црне Горе, 2 из Хрватске и 1 из Мађарске.

У зборнику радова „6th DQM International Conference Life Cycle Engineering and Management” (на енглеском и један рад на руском језику) објављено је 40 радова (прошле године 41), од чега 11 пленарних саопштења (6 радова аутора из Русије, 4 из Србије, 1 из Шпаније), 12 у секцији Quality Engineering, 4 у Reliability Engineering, 5 у Industrial Engineering, 4 у Systems Engineering 2 у Military Engineering, 1 у секцији Energy Efficiency, 1 у Lean Production. У секцији Industrial Engineering је и један рад аутора из Мађарске.

Званични језици конференције били су енглески, руски и српски.

Припадници Војске, односно Министарства одбране Србије, имају укупно 47 радова (прошле године 42), што је највише од почетка одржавања конференције. У табели 1 приказани су број радова припадника Војске Србије и МО и укупан број радова на конференцији, у последњих 7 година, од када постоји секција *Војно инжењерство* (Аутор, 2015). Осим тога, ове године је број радова припадника Војске и МО у секцији војно инжењерство нешто већи него у осталим секцијама (28 у односу на 19).

Табела 1 – Преглед броја радова припадника ВС и МО и укупног броја радова на ICDQM

Table – Overview of the papers of the Serbian Army and MoD members and the overall number of papers at the ICDQM

Таблица 1 – Обзор количества работ представителей ВС и МО и общего количества работ, представленных на конференции ICDQM

	Година						
	2015.	2014.	2013.	2012.	2011.	2010.	2009.
Секција војно инжењерство	28	22	9	6	6	18	12
Остале секције	19	20	21	10	8	10	2
Укупно ВС и МО	47	42	30	16	14	28	14
Укупно ICDQM	160	160	180	155	141	162	148

Наводимо, укратко, садржај радова припадника Војске и Министарства одбране Републике Србије по тематским областима конференције, редоследом како су дати у зборницима радова, који су штампани пре одржавања конференције.

Припадници Војске и МО Републике Србије су ове године, од укупно 48 радова, написали 7 радова на енглеском језику (прошле године 3) и један рад на руском. Радови на енглеском и руском језику штампани су у зборнику „6th DQM Life Cycle Engineering and Management) ICQDM-2015”.

На нивоу *пленарних предавања* публикован је један рад на српском језику:

Данко Јовановић, Универзитет одбране, Војна академија, Београд,

Војкан Радоњић, Технички ремонтни завод, Чачак,

Иван Милојевић, Генералштаб Војске Србије, Управа за логистику, Београд

*Примена логистичког контролинга при креирању
производног информационог система*

У резимеу рада констатује се да логистички контролинг представља приступ управљања системом у којем се претпоставља да се подаци прикупљају само на извору информација, а у ланцу одлучивања користе се у складу са хијерархијом лица и степеном овлашћења да ниво података користи, обрађује и доноси одлуке. У раду је приказан један пример тако пројектованог информационог система за производњу у једном делу производног процеса у Техничком ремонтном заводу „Чачак“.

У тематској области *инжењерство квалитета* објављена су четири рада на српском језику:

Марко Андрејић, Универзитет одбране, Војна академија, Београд,

Слободан Панић, Народна банка Србије, Београд,

Марјан Миленков, Универзитет одбране, Војна академија, Београд,

Симона Андрејић, Факултет за пословне студије и право, Београд,

Марјан Мирчевски, Војномедицинска академија, Београд

*Интерна комуникација у функцији мотивисања
запослених*

У раду се обрађује како препознати демотивисаност, начела код примене критике како би она била мотивишућа, како дати наредбу која мотивише, и наводе се обележја мотивишућег преношења обавеза и одговорности на запослене.

Срђан Димић, Милан Канкараш, Управа за стратегијско планирање, МО РС, Београд

Мерење перформанси у процесу стратегијског управљања транспортом

Полазећи од констатације да традиционални системи за мерење перформанси организација, засновани на употреби финансијских показатеља, не задовољавају потребе савремених организација, јер не пружају потребне информације за унапређење перформанси организације у будућем периоду, а полазећи од већег броја различитих модела који укупну успешност организације посматрају из различитих перспектива, користећи финансијске, али и нефинансијске показатеље, а који су развијени последњих година, у раду је приказан могући начин мерења перформанси у процесу стратегијског управљања транспортом.

Срђан Благојевић, Владимир Ристић, Драган Бојанић, Универзитет одбране, Војна академија, Београд

Методски проблеми управљања организацијом

У раду су идентификовани, описани и објашњени неки од могућих методских проблема управљања организацијом. Посебна пажња усмерена је на процесе усаглашавања ставова и усклађивања акција субјеката организације, као основа за успешну координацију у групном одлучивању.

Драган Бојанић, Универзитет одбране, Војна академија, Београд

Процена ефикасности система безбедносног менаџмента у организационим системима

У резимеу рада се констатује да је један од многобројних проблема са којима су се суочавале организације у земљама у транзицији, проблем реформе система безбедности и заштите на раду, као и заштите животне средине и увођење нових стандарда у овој области, те да кључну улогу у оквиру управљања и контроле овог система треба да има највиши менаџмент, и то нарочито преко система безбедносног менаџмента. У раду је приказан алгоритам за одређивање ефикасности мера заштите у системима безбедносног менаџмента.

У тематској области *инжењерство поузданости*, објављено је пет радова (1 на српском и 4 на енглеском језику). На српском језику је објављен рад:

Војкан Радоњић, Технички ремонтни завод, Чачак,
 Слободан Ђукић, Универзитет у Крагујевцу, Технички факултет, Чачак,
 Иван Милојевић, Генералштаб Војске Србије, Управа за логи-
 стику, Београд,
 Данко Јовановић, Универзитет одбране, Војна академија, Бео-
 град

*Примена комбинације метода вишекритеријумске
 анализе при избору оптималне организације
 одржавања радио-релејних уређаја*

У раду су, на избор оптималне организације одржавања радио-релејних уређаја у Војсци Србије, примењене метода аналитичких хијерархијских процеса (АХП), метод PROMETHEE и њихова комбинација, као вишекритеријумске методе одлучивања, да би се изабрала најбоља од четири предложене варијанте хијерархијске организације одржавања уређаја, при чему је већи значај дат критеријуму готовости (распоживости), не занемарујући трошкове одржавања уређаја током животног века. Разматрано је седам критеријума који-ма се може оценити свака од предложених варијанти.

На енглеском језику су објављени радови:

Милић Милићевић, Влада Соколовић, Марјан Миленков, Игор Еплер,
 Универзитет одбране, Војна академија, Београд

*The influence of repairable parts flow on characteristic
 of functioning of their multi-echelon inventory system*

У раду се разматра проблем промене вредности одабраних карактеристика двонивојског система залиха резервних делова од тока оправљивих делова. Захтеви за резервним деловима моделирани су одговарајућим расподелама вероватноће.

Драгољуб Вујић, Војнотехнички институт, Београд

Technology readiness level of structural health monitoring and its application in aircraft structures

Рад се бави новом облашћу предиктивног одржавања познатом као Структурал Хеалтх Мониторинг (СХМ), која представља нов начин недеструктивног тестирања структуре летелице мрежом сензора уграђених у структуру летелице, са тежиштем на врсти сензора и горњој фреквенцији примене. Наведен је пример примене оптичких и пиезоелектричних сензора у тестирању замора алуминијумске структуре.

Горан Јаначковић, Дејан Васовић, Универзитет у Нишу, Факултет заштите на раду, Ниш.

Стеван Мушицки, Универзитет одбране, Војна академија, Београд

Information exchange in integrated safety systems based on safety indicators

У раду је представљен модел размене информација у интегрисаном систему безбедности чији је циљ континуално побољшање ефикасности. Заснован је на индикаторима који описују ефективност безбедносног система.

Горан Јаначковић, Дејан Васовић, Универзитет у Нишу, Факултет заштите на раду, Ниш,

Стеван Мушицки, Универзитет одбране, Војна академија, Београд

Models for data and adverse events analysis in integrated safety systems

У раду су представљена два модела примењена на интегрисане системе безбедности ради побољшања њихове ефикасности: модел анализе нежељених догађаја и модел размене података, информација и знања.

У тематској области *индустријско инжењерство* објављено је шест радова припадника Војске и Министарства одбране (5 на српском и 1 на енглеском језику). На српском језику објављени су радови:

Снежана Крстић, Универзитет одбране, Војна академија, Београд,
Марко Станојевић, Стефан Коцић, Београдска пословна школа,
Београд

Либерализам и вулгаризација класичне политичке економије у Србији

У резимеу рада констатује се да су либералистичке концепције и вулгарну економију, настале у развијеним европским државама, у Енглеској и Француској, које су трајале у периоду од краја 18. до краја 19. века, заступали многи српски економски писци. Укратко се износе ставови и идеје српских економиста Уроша Миланковића, Чедомира Мијатовића и Алексе Спасића.

Веско Луковац, Драган Памучар, Универзитет одбране, Војна академија, Београд,
Иван Стефановић, Војска Србије, Београд

Грешке процењивања у систему за процењивање перформанси запослених – идентификација и отклањање

У раду се полази од констатације да грешке процењивања могу озбиљно угрозити квалитет система за процену перформанси запослених, односно објективност резултата процене, те да их је изузетно тешко елиминисати из процеса процењивања, јер су процењивачи често несвесни чињенице да их праве. У раду су приказане грешке које процењивачи најчешће чине приликом процењивања перформанси запослених, као и начини да се оне знатно умање и сведу на ниво који се може толерисати.

Биљана Иванова, Универзитет одбране, Војна академија, Београд,
Лидија Барјактаревић, Универзитет Сингидунум, Београд

Формирање кластера у функцији смањења ризика

У резимеу рада се констатује да концепт кластера представља нови начин размишљања о државним, регионалним и градским привредама и указује на нову улогу компанија, влада и других институ-

ција које се организују ради смањења ризика, те да би повезивање свих економских субјеката, као и укључивање нових заинтересованих страна, могао бити предуслов за стварање кластера, да удружене компаније лакше дефинишу и решавају проблем, а радом на заједничким пројектима развија се међусобно поверење, а ризик се дели. У раду се разматра организација привреде на бази кластера, развој кластера у Србији и класификација и управљање ризицима.

Миодраг Паспаљ, Слободан Анџић, Београдска пословна школа, Београд,

Слободан Шегрт, Универзитет одбране, Војна академија, Београд

Буџет Европске уније као спецификум јавних финансија

Циљ рада је сагледавање специфичности буџета Европске уније у односу на буџете држава. Разматра се процедура усвајања и структура буџета у Европској унији.

Раде Жугић. Министарство одбране, Инспекторат одбране, Београд,

Синиша Чабаркапа, Војска Србије, Генералштаб, Београд

Особености пореског система Савезне Републике Немачке

У раду се представља порески систем Савезне Републике Немачке, као чланице Европске Уније. Разматра се систем и политика директног опорезивања и место и улога директних пореза у пореском систему Савезне Републике Немачке.

На енглеском језику објављен је рад:

Бојан Бијелић, Иван Крстић, Аца Божилов, Универзитет у Нишу, Факултет заштите на раду, Ниш,

Весна Лазаревић, Војна болница, Ниш,

Дејан Апостоловић, СГС, Београд

A path toward responsible recycling of electronic waste

– R2 standard

У раду се прво говори о изворима електронског отпада и последицама његовог неодговорног управљања, а затим представља R2 стандард који је уведен са циљем да се уведе ред на тржишту рециклирања електронског отпада.

У тематској области *системско инжењерство (Systems Engineering)* објављен је један рад припадника Војске и МО на српском језику:

Војислав Батинић, Олгица Лазаревић, Аца Ранђеловић, Универзитет одбране, Војна академија, Београд

Динамичка стабилност двостепеног планетарног преносника добијена коришћењем модела система у простору стања

У резимеу рада се констатује да познавање природних учестаности и вибрационих модова обезбеђује важну информацију за подешавање резонанције даље од радних брзина, минимизирање одзива и оптимизацију конструкције, да у индустријској пракси конструкциони облик планетарног преносника уравнотежује многе последице инерције и крутости спрега и ослонаца изабраних компонената, те да су преоптерећења између сателита, избегавање резонанције и смањење тежине три главна задатка. Такође, процес конструисања тражи балансирање промена кључних конструкционих параметара за те или друге сврхе алтернативно модалних својстава и утицаја динамичког одзива. Идентификују се и сопствене учестаности и дају информације о стабилности система, које могу управљати овим одлучивањима, коришћењем модела система у простору стања.

У тематској области *војно инжењерство* објављено је 28 радова припадника Војске и Министарства одбране (26 на српском, 1 на енглеском и 1 на руском језику). На српском језику објављени су радови:

Иван Петровић, Крум Цветковић, Зоран Стојиљковић, Универзитет одбране, Београд

Достигнућа у образовању кадра Ратног ваздухопловства и противваздухопловне одбране

У раду је приказана потреба школовања и усавршавања официрског кадра у Ратном ваздухопловству и противваздухопловној одбрани (РВ и ПВО) у савременим условима ратовања. Прво су појмовно одређени термини знања и трансфера знања, затим су дате смернице у доктринарним полазиштима образовања официрског кадра, а на крају је описано тренутно стање и потребе унапређења школовања официрског кадра у РВ и ПВО.

Зоран Стојиљковић, Иван Петровић, Крум Цветковић, Универзитет одбране, Београд

Процес оперативног планирања у Ратном ваздухопловству и противваздухопловној одбрани

У раду је приказан начин планирања операција у Ратном ваздухопловству и противваздухопловној одбрани (РВ и ПВО), уз уважавање специфичности овог вида. Прво је описана организација вида РВ и ПВО, затим његове операције и, на крају, оперативно планирање у РВ и ПВО, закључујући да свака одлука о употреби јединица овог вида, у конфликтној ситуацији мора бити заснована на више-критеријумској анализи и савременим методама оптимизације, уз примену модерних средстава информатичке подршке.

Крум Цветковић, Иван Петровић, Зоран Стојиљковић, Универзитет одбране, Београд

Оперативно окружење у операцији контроле и заштите ваздушног простора

Тежиште рада је на мирнодопском, безбедносном и економском значају реализације задатка контроле и заштите ваздушног простора. Прво је дато појмовно одређење операције контроле и заштите ваздушног простора, затим је описано оперативно окружење, са тежиштем на утицају компонената оперативног окружења на извођење операције контроле и заштите ваздушног простора.

Игор Еплер, Новица Цонић, Влада Соколовић, Марјан Миленков, Универзитет одбране, Војна академија, Београд

Приказ савремених концепција управљања великим војним системима и предлози примене у Војсци Србије

Рад даје преглед достигнућа трансформација у војсци Сједињених Америчких Држава и њених снабдевача и сарадника, где се имплементацијом савремених концепција управљања процесима дошло, сматрају аутори, до величанствених унапређења и уштеда у разним областима. На крају дају предлог могуће примене постојећих успешних модела пословања у више области у Војсци Србије.

Јасмина Милошевић Столић, Ксенија Ђурић Атанасијевић, Ранко Лојић, Универзитет одбране, Војна академија, Београд

Потребе за менаџерским компетенцијама официра различитих родова и служби

Приказани су резултати истраживања менаџерских компетенција професионалних војних лица, као једног од проблема менаџмента у војној организацији. Потврђена је постављена хипотеза да се официри – старешине између себе разликују у проценама потреба за менаџерским компетенцијама неопходним за обављање професионалних дужности старешина у односу на њихову припадност роду, односно служби.

Самед Каровић, Ксенија Ђурић Атанасијевић, Ранко Лојић, Хајрадин Радончић, Универзитет одбране, Војна академија, Београд

Процес одлучивања у кризним ситуацијама

У раду се описује процес одлучивања у кризним ситуацијама са тежиштем на општим својствима процеса одлучивања, кризне аспекте одлучивања и фазе процеса одлучивања. Описани су основни елементи који непосредно имају утицај на процес доношења одлуке у решавању кризних ситуација.

Хајрадин Радончић, Универзитет одбране, Војна академија, Београд

Систем одбране Републике Србије у савременом окружењу

У резимеу рада се констатује да безбедност и одбрана представљају основне функције и најзначајније елементе државности сваке земље. Прво се даје теоријско одређење система одбране, а затим његова пројекција развоја.

Дејан Ранђеловић, Мирослав Терзић, Универзитет одбране, Војна академија, Београд,

Драган Стевановић, Генералштаб Војске Србије, Гарда, Београд,
Зоран Крсмановић, Академија за дипломатију и безбедност, Београд

Један приступ физичко-техничком обезбеђењу

Полазећи од констатације да је физичко-техничка заштита (у војној терминологији физичко-техничко обезбеђење), као део безбедносног инжињеринга, у сталном развоју, да има широку примену

скоро у свим друштвеним областима, од пословног окружења, војске, полиције, до обезбеђења високих државних руководиоца, у раду су дефинисани физичко-техничко обезбеђење и заштита личности и објашњене најчешће ситуације блиске заштите.

Сретен Илић, Миодраг Шикић, Генералштаб Војске Србије, Управа за логистику, Београд,

Марјан Мирчевски, Министарство одбране, Војномедицинска академија, Београд,

Данко Јовановић, Универзитет одбране, Војна академија, Београд

Концепт масовне деконтаминације становништва у току санације хемијског удеса

У раду је приказан нови приступ деконтаминацији људи на основу практичних решења земаља Европске уније, првенствено СР Немачке. Обрађен је концепт масовне деконтаминације, приликом хемијског удеса у градској средини, са тежиштем на елементима деконтаминационе станице са потребном опремом.

Дарко Божанић, Душко Милојевић, Јовица Милићевић, Универзитет одбране, Војна академија, Београд

Избор локација за израду маскирних везова применом методе ВИКОР

У раду је приказана примена методе ВИКОР приликом избора локација за израду маскирних везова у јединицама Војске Србије. Разрађени су критеријуми који овај избор условљавају и приказана је примена методе на примеру. Издвојено је пет кључних критеријума, а њихове вредности описују се фази лингвистичким дескрипторима.

Марјан Миленков, Универзитет одбране, Војна академија, Београд,

Дејан Николић, Војска Србије, Гарда, Београд,

Милић Милићевић, Универзитет одбране, Војна академија, Београд,

Горан Крстић, Војска Србије, Гарда, Београд

Виртуална логистика као концепт управљања залихама у Војсци Србије

У резимеу рада се констатује да је концепт виртуалне логистике добио на важности развојем информационих и телекомуникационих технологија. Обрађени су савремени трендови логистике, виртуали-

зација логистичког пословања и предложен концепт виртуалног управљања залихама материјала у Војсци Србије.

Марко Андрејић, Марјан Миленков, Универзитет одбране, Војна академија, Београд,

Марјан Мирчевски, Војномедицинска академија, Београд,
Слободан Панић, Народна банка Србије, Београд

Развој концепције логистике Војске Србије

У раду се констатује да логистика војске треба да буде ефикасна и ефективна, да је постојећа доктрина логистике направљена без претходног постојања логистичке концепције, те да ради остварења већег логистичког јединства и синергије и унапређења квалитета постојеће логистичке доктрине треба формализовати логистичку концепцију. Изнета су полазна разматрања која могу профилисати логистичку концепцију.

Марко Андрејић, Марјан Миленков, Универзитет одбране, Војна академија, Београд,

Марјан Мирчевски, Војномедицинска академија, Београд,
Слободан Панић, Народна банка Србије, Београд

Концепцијски ставови логистике

У резимеу рада се констатује да је постојање адекватне логистичке концепције и доктрине један од важних предуслова за стварање, развој и функционисање ефикасне и ефективне логистике, те да је постојећа доктрина логистике израђена без претходног постојања логистичке концепције. Аутори наводе неке до најважнијих ставова, препорука и смерница, као допринос достизању јединственог гледања на логистику одбране, остварењу већег логистичког јединства и синергије и унапређењу квалитета постојеће логистичке доктрине.

Иван Ранчић, Војска Србије, 250. рбр за ПВД, В и ПВО, Ниш,
Весна Николић, Бранислав Анђелковић, Универзитет у Нишу,
Факултет заштите на раду, Ниш

Образовање за заштиту и спасавање у оквиру треће мисије Војске Србије

У раду се констатује да је организовано ангажовање Војске Србије у ванредним ситуацијама од непроцењивог значаја за заштиту и спасавање становништва и ублажавање последица ванредних ситу-

ација по људе, имовину и животну средину. Указује се на потребу, значај и програмске оквири образовања за заштиту и спасавање са посебним освртом на правно-нормативне аспекте уређења система одбране у овој области.

Небојша Драговић, Саша Трандафиловић, Министарство одбране, Сектор за буџет и финансије, Београд,
Марко Андрејић, Универзитет одбране, Војна академија, Београд

Војна моћ у функцији ескалације глобалног тотализма

У резимеу рада се констатује да сагледавање савремених тенденција и улоге војне моћи у решавању конфликтних ситуација пружа корисно искуство за креаторе политике система одбране Републике Србије и одрживог развоја Војске Србије. У раду се разматра милитаризација привреде и дипломатија принуде, односно војни интервенционизам.

Никола Симић, Божана Пурковић, Марјан Миленков, Универзитет одбране, Војна академија, Београд

Могућност унапређења праћења стања средстава у логистици Војске Србије

У раду је приказана могућност да се, преко различитих класификација средстава наоружања и војне опреме и формализоване и аутоматизоване обраде података, може унапредити начин праћења квантитативних и квалитативних параметара средстава, чиме би се повећала ефикасност рада органа логистике, уз указивање на одређене слабости постојећег начина.

Ксенија Ђурић Атанасиевски, Јасмина Милошевић Столић, Универзитет одбране, Војна академија, Београд,
Татјана Вишацки, Министарство одбране Институт за стратегијска истраживања, Београд

Родна перспектива и образовање у систему одбране

У раду се разматра образовање о родним питањима као један од најважнијих услова за интеграцију рода у институције система одбране. Анализира се садржај различитих облика едукације и наводе

савремене методе учења које треба да дају највећи ефекат у образовању о родним питањима. Представља се и примена метода за мерење исхода учења и вредновање наученог о роду и родним питањима у систему одбране.

Драгиша Јаћимовић, Генералштаб Војске Србије, Управа за логистику, Београд,

Марјан Мирчевски, Министарство одбране, Војномедицинска академија, Београд,

Данко Јовановић, Универзитет одбране, Војна академија, Београд

Управљање ризиком животног циклуса

У раду су назначена питања промене структуре у постојећим логистичким процесима, како би управљање ризиком било уграђено у те структуре, ради позитивних промена. Наведени су неки елементи управљања ризицима у току животног циклуса у систему војне логистике у прорачуну погодности за одржавање конкретног техничког средства и војне опреме.

Александар Милић, Самед Каровић, Раде Славковић, Универзитет одбране, Војна академија, Београд

Оцена модела за израду минских поља применом методе МЕНОР

У раду је представљена могућност примене методе нормализације критеријумских функција на више нивоа (МЕНОР), као подршка одлучивању за оцену модела израде противоклопних минских поља. Идентификовани су релевантни критеријуми, првенствено имајући у виду карактер савремених операција и мисија у којима се користе инжињеријске јединице.

Ранко Лојић, Самед Каровић, Владимир Ристић, Јасмина Милошевић Столић, Универзитет одбране, Војна академија, Београд

Селекција и развој каријере у систему одбране

У раду се анализирају основне активности везане за селекцију, тренинг, планирање и развој каријере запослених са освртом на практична решења која се примењују у војним организацијама.

Мирослав Терзић, Срђан Дувњак, Универзитет одбране, Војна академија, Београд,

Бојан Кузмановић, Генералштаб Војске Србије, Управа за ОИП, Београд,

Војислав Ђорђевић, Факултет за пројектни и иновациони менаџмент, Београд

Прилог креирању организационог модела војнообавештајне јединице за подршку одлучивању у операцијама здружених снага

У раду су анализирани специфичности одлучивања у операцијама здружених снага, функције обавештајног обезбеђења и врсте организационих структура. Применом метода индукције и дедукције дошло се до елемената за прикупљање обавештајних података и креирање организационог модела војнообавештајне јединице.

Милош Тодоровић, Универзитет у Нишу, Економски факултет, Ниш,
Саша Ђорђевић, Министарство одбране, 3. Центар Војнобезбедносне агенције, Ниш

Перспективе развоја доминантних земаља у међународним односима

У резимеу рада се констатује да ће почетком 21. века свет прећи у мултиполарну фазу са четири доминантне војне, економске и политичке силе: САД, Руска Федерација, Н. Р. Кина и Европска унија. Рад анализира перспективе развоја војних, економских и политичких релација између ових доминантних земаља у глобалним процесима.

Велибор Јовановић, Војска Србије, Централна логистичка база, Београд,

Данко Јовановић, Марко Андрејић, Универзитет одбране, Војна академија, Београд,

Слађана Мишић, Војска Србије, Централна логистичка база, Београд

Могућност аутоматизације пописа основних средстава у Војсци Србије применом RFID технологије

У раду су приказана искуства неких страних армија и решења на бази RFID технологије систем интегратора из Србије, за аутоматизацију пописа основних средстава, ради сагледавања потребе и могућности за њихову примену у Војсци Србије.

Милинко Величковић, Факултет за инжењерски менаџмент, Београд,

Мирослав Талијан, Универзитет одбране, Војна академија, Београд

Квалитет и усавршавање кадрова у институцијама безбедности

Рад указује на важност квалитетне едукације у институцијама безбедности. Детаљније се разматра историјски развој обуке и подизање квалитета школовања полиције у Србији.

Владимир Ристић, Универзитет одбране, Београд,

Ранко Лојић, Горан Жупац, Универзитет одбране, Војна академија, Београд,

Драган Бојанић, Универзитет одбране, Београд

Менаџмент људских ресурса – развој каријере подофицира у Војсци Србије

У раду су идентификовани, описани и објашњени аспекти развоја каријере подофицира у Војсци Србије. Посебна пажња усмерена је на важност предвидивости каријере и развој каријере кроз могуће типове каријере подофицира у Војсци Србије.

Урош Живковић, Светлана Јанковић, Министарство одбране, Институт за стратегијска истраживања, Београд

Управљање људским ресурсима у области научноистраживачке делатности система одбране Републике Србије

У раду се разматра нормативно-правни оквир, развој научног подмлатка и предлажу активности унапређења и квалитетнијег управљања научноистраживачким кадром у Министарству одбране и Војсци Србије.

На енглеском језику је објављен рад:

Небојша Николић, Урош Живковић, Министарство одбране, Институт за стратегијска истраживања, Београд

Reserve recruitment pool vocational structure - reference for military unit life cycle efficiency

У раду се прво говори о фазама животног циклуса војних јединица, затим се даје део резултата истраживања које је спровео Институт за стратегијска истраживања Министарства одбране о склоности грађана за ангажовање у активној резерви и, на крају, говори о тзв. смарт регрутовању ради повећања организационе ефикасности.

На руском језику објављен је рад:

Милинко Величковић, Факултет за инжењерски менаџмент, Београд,
Мирослав Талијан, Универзитет одбране, Војна академија, Београд

Обучение и повышение квалификации в образовательных учреждениях системы службы безопасности

Рад указује на важност квалитетне едукације у образовним институцијама служби безбедности. Детаљније се разматра историјски развој обуке и подизање квалитета школовања полиције у Србији.

У тематској области *енергетска ефикасност* објављен је један рад на српском језику:

Бранко Тешановић, Факултет за пословне студије и право, Београд,
Саша Јовић, Војна установа Моровић, Београд,
Александар Нешевски, Универзитет одбране, Војна академија, Београд

Уљни шкриљци у функцији привредног развоја општине Алексинац

У раду се анализира могућност експлоатације уљних шкриљаца на територији општине Алексинац и закључује да за сада уљни шкриљци и њихова експлоатација нису у плану, да је потребно много улагања да би се експлоатисали и побољшао привредни развој Алексинца, а онда и целе Србије, довођењем страних инвеститора.

У тематској области *економична производња* објављен је један рад на српском језику:

Милан Михајловић, Универзитет одбране, Војна академија, Београд,
Радован Дамњановић, Милош Томашевић, Војска Србије, Генералштаб, Београд

Програмски буџет и примена концепта Lean Six Sigma ради побољшања пословних перформанси система одбране

У раду се полази од констатације да увођење програмског буџета у систем одбране може довести до рационалнијег коришћења ресурса и разматра могућност примене концепта Lean Six Sigma ради оптимизације процеса буџетирања система одбране.

На крају, може се констатовати да овогодишња ICDQM има укупан број радова, као и претходна. Међутим, припадници Војске и Министарства одбране Републике Србије имају највећи број радова до сада у свим секцијама конференције. Наставља се тренд сарадње аутора из разних институција Војске и МО Србије међусобно и са институцијама ван Војске. Већина радова је колективно дело више аутора. Међутим, неколико истих аутора јавља се на више од 3 рада (на већини научних скупова је ограничено да се исти аутор може појавити на највише 2 рада, а на неким 3). Као и претходних година, на конференцији су учествовали некадашњи припадници Војске, који сада раде у високообразовним институцијама у цивилству.

Литература / References

- ICDQM. 2015. . . U: 18. DQM međunarodna konferencija Upravljanje kvalitetom i pouzdanošću, Prijedor, Srbija. ISBN 978-86-86355-18-8, COBISS. SR-ID 215642124.
- ICDQM. 2015. . . U: 6th DQM International Conference Life Cycle Engineering and Management, ISBN 978-86-86355-19-5, COBISS.SR-ID 215643660.
- Pokorni, S. 2015. 17. međunarodna konferencija ICDQM 2014 (prikaz zbornika radova). *Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier*, 63(1), str.169-189. ISSN 0042-8469, COBISS.SR-ID 4423939 UDC 693 + 355/359. doi:10.5937/vojtehg63-6438
- ICDQM. (2015). *Poziv za radove*. Preuzeto sa http://www.dqmcenter.com/uploads/images/01_POZIV_ZA_RADOVE_ICDQM-2015.pdf 2015 Nov 7.

18. МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ICDQM-2015 (ОБЗОР СБОРНИКА СТАТЕЙ)

Славко Й. Покорни
Колледж информационных технологий, Белград, Республика Сербия

ОБЛАСТЬ: менеджмент, качество, надежность, компьютерные науки,
информационные технологии

ВИД СТАТЬИ: обзор
ЯЗЫК СТАТЬИ: сербский

Краткое содержание:

Данный обзор включает основную информацию о результатах работы и значимости 18-ой Международной конференции "Управление качеством и надежностью" – ICDQM-2015 и 6-ой Международной конференции «Управление и инженерия этапами жизненного цикла» (доклады на сербском, английском и русском языках), которая была проведена под одноименным названием «ICDQM-2015». В обзоре приведены: номер и структура докладов, зачитанных на конференциях,

но рассматриваются исключительно статьи, авторами которых являются военнослужащие, представители Министерства Обороны Республики Сербия. Работы распределены по следующим секциям: военная инженерия, инженерия качества, инженерия надежности, промышленная инженерия, системная инженерия, энергоэффективность и бережливое производство. Настоящий сборник является ведущим по количеству опубликованных статей, авторами которых являются военнослужащие, представители Министерства Обороны Республики Сербия.

Ключевые слова: качество, надежность, военное инженерное дело, конференция, обзор.

18TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON DEPENDABILITY AND QUALITY MANAGEMENT ICDQM-2015 (PROCEEDINGS REVIEW)

Slavko J. Pokorni
Information Technology School, Belgrade, Republic of Serbia

FIELD: Management, Quality, Reliability, Computer Sciences, Information Technology

ARTICLE TYPE: Review

ARTICLE LANGUAGE: Serbian

Summary:

The article gives an overview of the conference overall results and its significance, presenting the international programme committee and the working areas of the 17th DQM International Conference on Dependability and Quality Management ICDQM 2014 and 5th DQM International Conference on Life Cycle Engineering and Management (papers printed in Serbian, English and Russian), which was held under the same acronym ICDQM-2014. The number and structure of papers presented at both conferences are given while the papers discussed in more detail are only those from the participants from the Armed Forces and the Ministry of Defense of the Republic of Serbia in Sections: Military Engineering, Quality Engineering, Reliability Engineering, Industrial Engineering, Systems Engineering, Energy Efficiency and Lean Production. This year's conference has had the biggest number of papers presented by the participants from the Armed Forces and the Ministry of Defense of the Republic of Serbia so far.

Key words: quality, reliability, military engineering, conference, review.

Датум пријема чланка / Дата получения работы / Paper received on: 25. 09. 2015.

Датум достављања исправки рукописа / Дата получения исправленной версии работы / Manuscript corrections submitted on: 02. 11. 2015.

Датум коначног прихватања чланка за објављивање / Дата окончательного согласования работы / Paper accepted for publishing on: 04. 11. 2015.

© 2015 Аутор. Објавио Војнотехнички гласник / Military Technical Courier (www.vtg.mod.gov.rs, vtg.mo.unp.rs). Ово је чланак отвореног приступа и дистрибуира се у складу са Creative Commons licencom (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2015 Автор. Опубликовано в "Военно-технический вестник / Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier" (www.vtg.mod.gov.rs, vtg.mo.unp.rs). Данная статья в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией "Creative Commons" (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2015 The Author. Published by Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (www.vtg.mod.gov.rs, vtg.mo.unp.rs). This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).



САВРЕМЕНО НАОРУЖАЊЕ И ВОЈНА ОПРЕМА
 СОВРЕМЕННОЕ ВООРУЖЕНИЕ И ВОЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ
 MODERN WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT

Војна парада у Њу Делхију



Ове године, 26. јануара, Индија је обележила свој јубиларни 70. Дан републике. Највише свечаности организовано је и одржано у главном граду, Њу Делхију, где је главна манифестација била парада на којој су, како су то нагласила средства информисања Индије, приказани симболи војне силе тог великог народа, уз сав спектар цивилизацијског, историјског и културног богатства. Несумњиво је да је уложено много труда, умећа и вештине да би се припремила парада која је трајала више од три сата.



У паради је учествовало и 100 војника на камилама, обучених за борбена дејства у пустињским деловима земље

Претходних 6 месеци увежбано је више од 6000 учесника, 1200 ученика и 5000 уметника из целе земље. Био је то начин да се све културолошке, националне и регионалне специфичности истакну на тој, изразито спектакуларној прослави, којој је присуствовало 3200 званичника, мноштво народа и коју је пратило више од милијарду људи пред ТВ екранима¹.

Контингенти, ешалони

Припреме за параду почеле су пола године раније, а обухватале су необичну селекцију учесника. Најпре су, од многобројних кандидата, формирана 42 контингента са 144 војника који су маршевали сваки дан, више сати, како би стекли навике, кондицију и омогућили да се изрази заиста шаролика регионална разноликост. За логистику и обезбеђење комплетних услова за реализацију параде ангажовано је приближно 10.000 помоћног особља у Делхију. Занимљиво је и да су међу учесницима параде марширала и три контингента официра жена из сва три рода индијске војске – ваздухопловства, ратне морнарице и копнене војске. Додатну специфичност индијске параде представили су припадници гарде на коњима, мотоциклистичких јединица, али и граничари који штите државне међе у регионима Гуџарат и Раџастан, који су дефиловали на камилама.

Спремност за одбрану

Свечана парада на булевару Рајпатх у Њу Делхију одржава се сваке године на исти дан, 26. јануара. Укупно траје три сата. Парада приказује индијску спремност да брани своју независност, слободу, национални, регионални и државни идентитет, интегритет те културно и друштвено наслеђе.

Главни гост ове године био је француски председник Франсоа Оланд. Наиме, Француска је кључни стратешки партнер Индији у области одбране и нуклеарних питања. Такође, успостављена је одлична сарадња у борби против тероризма. На паради у Њу Делхију Француска је присуствовала и претходних пет година, а ове године њени војници први пут придружили су се индијским трупам током дефилеа.



Необичан приказ – испред оклопног ешалона продефиловала је јединица на коњима

¹ [http://www.militaryparitet.com/html/data/ic_nevs/161/V](http://www.militaryparitet.com/html/data/ic_nevs/161/V%20Indiisostojasjagrandioznyivoennyiparad) Indiisostojasjagrandioznyivoennyiparad

Свим припремама и целокупном организацијом параде руководило је Министарство одбране у сарадњи са полицијом Њу Делхија. За обезбеђење трасе дуге 8 км употребљен је пук војске.

Манифестације којима је индијски народ обележио свој Дан републике одржане су током три дана, од 26. до 29. јануара 2016. године, на тргу Рајпатх у Њу Делхију. Свој пут учесници параде започињали су од дела града названог Расхтрапати Бхаван (Председничка палата), марширали су кроз сликовите пределе авеније Рајпатх до Индијских врата (India Gate), а свој наступ завршавале су код историјске Црвене тврђаве у Старом Делхију.

Садржаји параде

Парада је конципирана тако да не приказује само војну моћ Индије, већ и њене неизмерне историјске, културне, националне и регионалне разноликости.

Догађај дана почео је полагањем венца на месту Амар Јавањоти код Индијских врата. Церемонијал је обухватао и долазак председника и главних гостију, односно шефова других земаља. Са 21. плотуном из топова одата је почаст националној застави, уз државну химну. Сам председник државе Пранаб Кумар Мукерџи одао је и пошту уручивањем одликовање за храброст на бојном пољу бројним погинулим борцима за слободу и независност Индије (Veer Chakra).

Церемонија је настављена летом четири хеликоптера из састава оружаних снага изнад трасе параде и почасне трибине. Сваки хеликоптер носио је заставу – први индијску државну заставу, а остала три заставе копнене војске, морнарице и индијских ваздухопловних снага.

Председнику државе и команданту оружаних снага начелник генералштаба предао је рапорт да је парада спремна за почетак, а потом је уследио наступ механизованих снага контингента копнене војске, ваздухопловства, морнарице, паравојних снага, полиције и националног кадетског корпуса. Веома спектакуларан био је и налет ваздухопловства и поморских авиона којима је заокружена војна целина параде.



Први хеликоптер носио је државну индијску заставу

Након војних ешалона уследио је пролазак бројних група са културним и уметничким садржајима којима су представљене све особености различитих индијских народа и народности. Садржајним експонатима приказане су активности људи из разних индијских држава. Сваки ешалон је садржавао мноштво разноврсност и богатства културе те земље, а свеукупни наступ имао је свечани карактер. Иза културног ешалона својим проласком све су одушевила деца школског узраста која су, наравно, била у пратњи слонова².



Величанствен колорит учесника параде уклапао се у специфичан амбијент индијске престонице

Јединственост и карактер ове параде може се сагледати само уколико се посматра као саставни део осталих манифестација којима је обележен индијски Дан републике. Страни коментатори су с одушевљењем наглашавали да, ни на једној паради у свету до сада није представљено толико велико богатство етничких разноликости, ни толико различитих људи у раскошним униформама које красе индијске оружане снаге³.

У паради су учествовале три дивизије индијских оружаних снага, два наест различитих пукова индијске војске, припадници морнарице и ваздухопловства са својим шароликим униформама и службеним одликовањима. Свака индијска држава и територија уније је представљена разноликим ешалонима који наглашава један од бројних аспеката њихове културе.

² http://www.militaryparitet.com/html/data/ic_nevs/168/

³ <http://www.festivalsfindia.in/republicdai/Parade.aspx#sthash.LFzRitK1.dpuf>

Током параде представљено је укупно 25 ешалона са различитим војним возилима, 30 авиона властите производње или производње у кооперацији са страним улагачима и кооперантима, 20 војних оркестара, 30 културних ешалона и 1200 ученика кадетске школе.

Бројне свечаности одржане су и у многим другим крајевима и главним градовима широм земље. У Бангалору је, такође, организована парада и културни сајам, затим у Калкути, Ченају, Мумбају...

Индија је, иначе, све манифестације представила као изузетан традиционални туристички догађај и позвала госте из целог света да присуствују и уживају у чарима националног и културног миљеа.

Велико финале параде представљао је наступ ваздухопловне акробатске групе.

Наоружање и војна опрема

Сама парада, у којој је доминантну позицију заузимала индијска војска, није имала посебно изражен војно-политички карактер. Многи коментатори су више пажње посвећивали садржајима економске сарадње у производњи наоружања и користили статистичке податке о плановима индијских компанија да развију сарадњу у тој области.

На пример, руски медији су забележили да, традиционално, Индија на паради приказује 70 одсто сопственог наоружања и војне опреме, која је произведена у сарадњи са Русијом и другим кооперантима широм света.

Од војне технике на паради су најпре представљена оклопна борбена возила које је предводио тенк „Бишма” (Bhishma). То је борбено возило у које су властита индустрија и развојни институти уложили много иновација.

Парадом су доминирали тенкови Т-90 и Т-72, борбена возила пешадије БМП-II, специфична транспортна возила за копнену војску, војну полицију, парамилитарне јединице, као и савремена средства снага за борбу против тероризма.

Овогодишња парада била је јубиларна и објединила је многе пројекте и војна достигнућа са већ је виђеним стандардним масовним наоружањем - од познатих индијских пушака, митраљеза и бацача бомби, преко неколико модела вишецевних бацача ракета, до познатих противавионских система за заштиту копнених снага од дејства из ваздушног простора.

Иначе, Индија своје развојне пројекте савремене војне технике, наоружања и опреме представља на бројним сајмовима те врсте производа. Индија је, уједно једна од земаља која организује и међународни сајам војне опреме и наоружања Дефекспо (DefExpo), у Њу Делхију. Тако је 2014, на том сајму наоружања представљена нова индијска хаубица калибра 130 мм. Та хаубица постављена је на шасију индијског тенка и добило је име „Бишмин катапулт”. Ради додатне заштите посаде са предње и на бочним странама возила налази се додатни оклоп. Тада је, такође, представљен и ловац пете генерације FGFA, који се развија на основу руског пројекта Т-50 ПАК ФА. Најављено је и да ће Индија почети и са развојем пројекта вишенамењског транспортног авиона МТА (Medium transport aircraft), који води порекло од руског авиона Ил-214. Од ракетних система на паради су представљене противбродске и балистичке ракете за подршку копнених снага.

Несумњиво је да је Индија, самом концепцијом представљања наоружања и опреме на паради, послала поруку да нема намеру да у мирнодопским условима истиче своју војну снагу. Али, наглашена је одбрамбена способност да, у случају напада, може да дејствује по противнику удаљеном више хиљада километара. То је усклађено са индијским спољнополитичким ставовима и уверењем да тој земљи, и поред нерешених проблема са суседима, ипак не прети озбиљна непосредна војна опасност. Али, свако ће схватити да су индијске војне снаге способне и увежбане да оружје употребе у сваком моменту, уколико запрети опасност на границама...



Основни борбени тенк индијских копнених снага „Бишма”

„Бишма” Т-90 је основно борбено возило у копненим снагама индијске војске. Унапређен је и осавремењен опремом за управљање ватром треће генерације. Настао је даљим развојем старијег Т-72. Има уграђен дизел мотор V-92S2 од 810 коњских снага. Индијска варијанта тог тенка заштићена је експлозивно-реактивним оклопом (ЕРО) новије генерације „Контакт-5” који је постављен по куполи и телу тенка. Кад је 1993. године почела производња у малим серијама, одмах су се заинтересовале многе армије широм света за његову набавку. Купиле су га и оружане снаге Алжира, Азербејџана, Туркменије и Уганде. Индија своје осавремењене тенкове продаје по свету и две варијанте – Т-90Е и Т-90S.

Иначе, треба имати у виду да је реч о новој верзији тенка, на којем је уграђена потпуно варена купола са експерименталног тенка „Објект 187”, уместо оригиналне куполе Т-90. Руска војна индустрија представила је јавности ову иновацију 1999. године, а ту верзију преузела је и Индија.

Руска штампа нагласила је да је тај тенк перспективан и да ће наредних десетак година бити осавремењаван и унапређиван са развојем војне науке, нових материјала и информатичких технологија. С обзиром на то да би тенк Т-90 требало да остане у активној употреби све до 2025. године, а да су се на светској сцени појавиле нове генерације борбених возила, попут руског тенка „Армата”, несумњиво је да ће крајем првог квартала 21. века настати прекретница у поимању оклопне борбе и коришћењу тенкова и

других оклопних борбених возила у свим војскама света. Међутим, коментатори параде и средства информисања нису назначавали да ли се по представљеној техници могу предвиђати трендови развоја наоружања у индијској војсци.

Индијски тенк Т-90 Бишма

Кад је реч о тактичко-техничким особинама индијског тенка он је наоружан топом 2А46М-1. У активној употреби у индијској војсци Т-90S почео је да се користи од 2001. године. Тада је од Русије купљено 310 тенкова Т-90S, од којих је 120 било потпуно састављено, 90 полусастављено и 100 у деловима, који су по испоруци склапани у Индији. Касније, 2006. године набављено је још 340 тенкова из Русије. Индија је 2007. године купила додатних 347 комплекта Т-90S и Т-90М у деловима, који су склапани у властитим погонима као индијска варијанта Т-90S „Бишма” (Bhishma, означавана и као Т90S India2). Следећих петнаестак година настављена је производња по лиценци, тако да је тенк „Бишма” постао основно борбено возило копнених снага. Индија је те тенкове унапређивала са потребама наоружавања војске.



Индијски тенк „Бишма” наоружан је топом 2А46М-1 са ожлебљеном цеви 125 мм

Медији су изнели податак да је више од 1000 тенкова Т-90S „Бишма” произведено у Индији по руској лиценци. Иначе, први тенкови Т-90S за индијску војску произведени су у фабрици „Уралвагонзавод” са уграђеним побољшаним моторима од 1000 коњских снага које је произвела фабрика трактора у Чељабинску. Ова возила нису купљена са реактивним оклопом

„Штора”, већ само са моделом „Контакт-5” ЕРО на куполи. У једном периоду коришћен је и активни противоклопни систем из Француске. Касније су индијски стручњаци за противоклопну заштиту развили сопствени композитни оклоп „Канчан” (Kanchan). У новије време на свим индијским тенковима „Контакт-5” замењен је супериорним системом „Кактус” ЕРО. Током модернизације уграђен је и систем за хлађење и контролу температуре унутар тенка, који је прилагођен за употребу у пустињским условима. У борбени простор и део где се налази посада уграђена је опрема за хлађење „Талес” (Thales). Наиме, руске варијанте тенкова намењене су за дејство и борбену употребу у европским и сибирским условима, где су разлике температуре у односу на Индију веома изразите.

За управљање ватром набављен је систем израелске фирме „Kinetics Ltd”, а део за контролу ватре осавремењен је термовизијским камерама „Ketrin-FC”.

У руским медијима наглашавано је да је индијска војска изабрала Т-90 који је развијен из модела тенка Т-72, зато што је већ био у употреби те армије. Тиме се знатно уштедело на обуци посада и одржавању тенкова. Набавку Т-90 определили су и повремени техничко-технолошки проблеми са производњом новог индијског главног борбеног тенка.



Специфична форма тенка „Бишма” Т-90 прилагођена је употреби у индијској копненој војсци

Индија је крајем 2012. године наручила још 354 руска тенка Т-90S/M. Објављени су подаци да та земља планира да до 2020. године у свом наоружању има око 1500 тенкова Т-90С, а Министарство одбране саопштило је

да је, од маја 2014. године, започела домаћа производња 1.000 додатних Т-90. Такође, објављено је и то да ће индијска војна индустрија осавременити више од 600 руских Т-90 тенкова додавањем и заменом система за контролу и управљање температуром у возилу. Климатизација савремених тенкова веома је битна, с обзиром на то да су посаде ових борбених возила изложене веома неповољним условима широм државе чији север је у хладним планинским пределима, а југ под топлим утицајем Индијског океана. Поред тога, у постојеће тенкове уградиће се нови навигациони систем и компоненте за управљање и контролу ватром, за шта је држава одобрила 250 милиона долара. Међу разлозима за замену термокамера наводи се да су постојећи системи у индијским условима били мање ефикасни од нових који ће се уградити и повећати борбену ефикасност.

Индијски тенк „Бишма“, дакле, нова је верзија савременог руског тенка који је добио и модеран дизајн (специфичну форму прилагођену употреби у индијској копненој војсци), и још увек је у фази развоја. Налази се у јединицама у малом броју. Већи је и тежи у односу на Т-90, што је изазвало логистичке проблеме. Ти тенкови налазе се у пуковима „Бопал“ (Bhopal) и „Ам-бала“ јуришног корпуса.



Јединствени индијски оклопни транспортер Mahindra MPV-I

Свим унапређењима, надоградњом и осавремењавањем Т-90 руководи индијска Агенција за истраживање и развој одбране Индије (DRDO). Најављено је, такође, да ће до 2020. године бити замењени многи други системи на постојећим тенковима Т-90, од реактивних композитних оклопа, уређаји за навигацију, унапредиће се системи за ноћна дејства и усавршиће се систем за управљање ватром. Саопштено је да су превазиђени и проблеми које је Индија имала са руском индустријом због ограничења права интелектуалне својине.

Следеће борбено возило, представљено на паради у Њу Делхију, био је специфичан и јединствени индијски оклопни транспортер MPV-I (Mahindra Mine Protected Vehicle-I), са унапређеном заштитом од противтенковских мина и других експлозивних направа. То возило развијено је и произведено у неколико верзија, па је поред основне представљена и инжињеријска варијанта произведена у компанији „Одбрамбени копнени системи“ (Defense Land Systems). Ова техника произведена је у кооперацији „Mahindra & Mahindra Limited“ и „BAE Systems“, као заједнички пројекат⁴.

Возило је представљено још 2010. године, а развијано је ради унапређивања противоклопне заштите индијских безбедносних снага ангажованих у противгерилским операцијама на неравном, пошумљеном и брдовитом терену. Погоњено је робусним дизел мотором 230 КС, упареним са трансмисијом 6x6. Оклоп MPV-I обезбеђује оклопну заштиту посаде и војнике у делу за превоз. Штити

Индијски извоз наоружања и опреме

Индија у свом извозном програму највише извози пушке INSAS и лично наоружање за војску и полицију (мало наоружање – SmallArms), камионе и лака борбена возила, радаре и компоненте за авионе. У програму проширења извозног програма су ракетни системи, системи и компоненте за управљање ватром, авионика за SU-30, модернизовани тенкови и противавионски системи.

од дејства балистичких пројектила са стране и мина укопаних на путу. Користи прорачунате косине на масивној челичној каросерији „V-облика“ (V-shaped monohull chassis). Тиме се умањују пробојно дејство пројектила на челично тело и скреће ударни талас на делове каросерије где нема посаде и људства које се транспортује. Оклопна заштита тестирана је и обезбеђује посаду од ефеката дејства муниције 7.62x51 мм НАТО, 7.62x39 мм и руске 5.56x45 мм муниције, испаљене са удаљености 10 м. Тестирање је обављено под угловима од 45 и 90 степени у односу на заштиту⁵. Може да издржи експлозију еквивалентну 21 кг ТНТ испод било којег точка, и експлозију 14 кг ТНТ директно испод дела за смештај посаде. Превози до 18 потпуно опремљених војника са посадом⁶.

Када је 2011. године возило у области Jharkhand наишло на импровизовану експлозивну нараву од 80 кг, што је знатно изнад лимита од 21 кг, употреба је била ограничена, али су инжињери почели са истраживањем могућности да се заштита побољша.

Укупно се годишње производило 100 таквих возила, којима су одмах снабдеване јединице које су биле активне у противтерористичким дејствима у појединим деловима државе и граничним областима.

Индија је данас један од већих извозника наоружања, војне опреме и возила. У извозној понуди индијских војних произвођача налази се више модела оклопних транспортера. Индијско оружје и возила продају се највише у Еквадору, Непалу, Омау и Израелу⁷.

⁴ <http://www.mycity-military.com/Oklopna-tehnika/Mahindra-Mine-Protected-Vehicle.html>

⁵ <http://www.mahindraarmoured.com/armored/apc/mpv.asp>

⁶ <http://www.mahindra.com/business/defence>

⁷ <http://defence.pk/threads/who-exports-more-weapons-india-or-pakistan.52684/#ixzz41SRjxjF>



Индијски лаки оклопни транспортер Рено Шерпа

Један од посебних извозних артикала је индијски лаки оклопни транспортер Рено Шерпа (Renault Sherpa Lite), са трансмисијом 4x4. Превози 10 војника, а има додатни простор за њихову борбену опрему. Тај оклопни транспортер има велику унутрашњу запремину која се може користити за ношење система наоружања. АПЦ верзија може да пређе до 1.000 километара, возећи максималном брзином од 110 км/ч. Производи се у кооперацији са француском фирмом Рено камиони (Renault Trucks). Бруто маса возила је 10 тона, а на шасију може да се угради каросерија са кабином у којој су четири седишта и теретни простор носивости 1,5 тона.

Погон „Махиндра оклопна заштићена возила“ Емирати (Mahindra Armored Mine Protected Vehicle) производи и бројна друга тактичка, транспортна, командна и возила за везу, посебно за полицијске и паравојне снаге за обезбеђивање граничних региона⁸. На њих могу да се поставе лаки ракетни системи и бацачи бомби, митраљеви, као видео и топлотни системи за дневно-ноћно осматрање, надзор и извиђање. Возила су добила концептуални назив MEVA (Mahindra Emirati vehicles Armoring FZ LLC), а од 2014. године су у извозном програму Индије. То је, у тој години, земљи донео 55 милиона долара прихода, што је највећи приход од извоза неке врсте наоружања и опреме од 1968. године, када је Индија почела да извози своју војну технику⁹.

Познато је да је и претходна Југославија купила од Индије командна возила почетком седамдесетих година претходног века, што због политике осла-

<http://defence.pk/threads/who-exports-more-weapons-india-or-pakistan.52684/#ixzz41SRZxi1N>

⁸ <https://www.bing.com/images/search?q=Mahindra+Armored+Mine+Protected+Vehicle&view=detailv2&id=901E37753B8672D78BD3260999D90F10AD2B3FA2&selectedindex=20&ccid=XSOFMHt0&simid=608041175286155611&thid=OIP.M5d2385307b74c65722da98dbb7dd6413o0&first=1>

⁹ <http://www.indexmundi.com/facts/india/arms-exports>
Source: Stockholm International Peace Research Institute (SIPRI), Arms Transfers Programme (<http://portal.sipri.org/publications/pages/transfer/splash>).

њања на несврстане земље, чији је један од лидера била и Индија, а што због тренутних повољности те врсте војних производа на светском тржишту.

На Паради се иза тенкова кретао индијски оклопни транспортер БМП-II Шарат. Реч је о моделу БМП-II/2К, руском производу друге генерације, који је након договора између Индије и Русије о Интелектуалном власништву 2005. године индијска индустрија почела да модернизује и усавршава компоненте за управљање ватром, осматрање и непосредну противоклопну заштиту.

БМП-II Шарат

БМП-II Шарат (Sarath – возило победе или eng. Chariot of Victory) представља најмасовније амфибијско оклопно борбено возило у индијској армији. Наведен је податак да се у јединицама налази чак 1900 возила типа БМП-II/2К, који ће се користити до 2017. године. Иначе, БМП-II је оклопни транспортер руске производње, први пут представљен 1987. године.

Пре него што се индијско Министарство одбране одлучило да набави тај тип оклопног борбеног возила, индијске оружане снаге користиле су БМП-I. У периоду од 1976. до 1982. године набављено је 745 оклопних транспортера тог типа. Како су оклопни транспортери БМП, претходне генерације, имали век трајања 10 до 15 година, индијска индустрија одлучила је да им продужи употребне могућности. Иновацијама и усавршавањем надживела су свој борбени век и користили се до 1997. године. Усавршена су савременијим отоелектронским системима за управљање ватром, који су почели да се производе у Индији по руској лиценци. Од 1993. године настављена је сопствена производња тог оклопног транспортера по 100 до 150 примерака годишње. Први процењени век употребе тог оклопног транспортера био је 15 година, али је усавршавањем сопствене производње продужен на 32 године.



Специјални индијски оклопни амфибијски транспортер „Шарат“ у верзији командног возила

Ремонт је предвиђен сваких 12 и 22 године или након пређених 10.000 км. Сами мотори морали су да се ремонтују након 4800 км/с. Сопствени ремонт успостављен је 2000. године, када је планирано да се из употребе повуче 686 возила БМП. Предвиђено је било да се ремонт заврши до 2006. године, али план је пренет и на следећу годину. Подаци су показали да је век употребе купљених борбених возила 16 година. У првој години ремонтвано је само 56 возила, али следећих се повећала ефикасност индустрије па је ремонтвано 114 у 1981. години. Ремонт и усавршавање допринели су да се укупни животни век ових борбених возила продужи на више од тридесет година.



Индијски инжењеријски оклопљени амфибијски дозер развијен из основног подвоза за оклопни транспортер БРМ-II

Утврђено је, такође, да током животног вела застаревају 32 компоненте. Међутим, индијски стручњаци и инжењери развили су нових 155 компоненти којима су обезбедили већу борбену ефикасност и покретљивост тог борбеног возила.

У новембру 2005. године Оснивачка институција за истраживање и развој VRDE (Vehicle Research & Development Establishment) почела је да, на шасији Шарат БМП-II, развија још једно сопствено „оклопљено инжењерско извиђачко возило“ AERV (Armoured Engineer Reconnaissance Vehicle BRM-2) за индијску војску. Развијано је у сопственој институцији за истраживање и развој возила VRDE, у оквиру Министарства одбране, односно у Организацији за истраживања и развој одбране - DRDO (Defence Research and Development Organisation). Сарађивале су и друге лабораторије за истраживање и развој војних компоненти.

AERV је вишенаменско возило за инжењеријски корпус индијске војске за обављање земаљских радова, прављење прелаза за оклопна возила, уређивање корита река ради одбрамбених припрема и друге радове пре војних операција. Само возило AERV, засновано на шасији Шарат БМП-II амфибијског пешадијског борбеног возила, произведено је у „Авади фабрици за пројектовање убојитих средстава Медак“ (Avadi and Ordnance Factory Project, Medak). Ова шасија искоришћена је и за носач мостова и друге инжењеријске машине, као подвоз за противавионске системе у пешадијским јединицама.



Специјално футуристичко пешадијско борбено возило – FICV (модел)

Још једно специјално пешадијско борбено возило, названо „футуристичко пешадијско борбено возило“ FICV (Futuristic Infantry Combat Vehicle) развијано је током 2013. године. Према процени индијског Министарства одбране производња тог новог борбеног возила рентабилнија је од надоградње руских пешадијских борбених возила БМП-II.

Прототип тог возила представљен је на индијској изложби наоружања и војне опреме DefЕкспро 2015. године у децембру. Саопштено је, такође, да је Министарство одбране расписало тендер за набавку 2000 комада одговарајућег мотора. Тактичко-технички подаци послати су фирмама Mahindra & Mahindra, Tata Motors, Force Motors, Ašok Lejland, Maruti Udiog и Krompton, MTU из Немачке, Талесу из Француске и Рособоронекспорту у Русији. Основне карактеристике мотора су да има 350 до 380 коњских снага, лако се одржава и да ради у екстремним временским условима.



Војници индијске војске на камилама, наоружани пушкама INSAS

Индијски војни стручњаци сматрају да постојећи мотор БМП-II од 285 коњских снага није погодан за потребну мобилност оклопног транспортера FICV. Остале карактеристике захтевају да то борбено возило поседује савремене системе за дневно и ноћно осматрање, управљање ватром, а да оклоп поседује побољшану заштиту од ракета са навођењем и од пројектила 30 мм испалених из аутоматских бацача граната.

Јуришна пушка INSAS

Од личног пешадијског наоружања војници на паради били су, претежно, наоружани пушкама INSAS. У касним 50-им годинама прошлог века, индијске оружане снаге биле су опремљене аутоматским пушкама L1A1 калибра 7.62 мм НАТО, које су, у ствари, биле лиценциране копије чувене белгијске FN FAL пушке. Те пушке почеле су да застаревају 1980. када је Министарство одбране почело да иницира развој пушке INSAS (индијски национални мали систем оружја – Indian National Small Arms System), који се заснивао на неколико познатих страних пешадијских пушака.

Јуришна пушка INSAS (Индија)	
Калибар, мм:	5.56x45 НАТО
Повратни систем:	гас, ротирајући затварач
Укупна дужина: мм	
– са фиксним кундаком; мм,	945
– са преклопним кундаком; мм,	960/750
Дужина цеви: мм,	464
Маса: кг, празан	3,2
Брзина паљбе: метак/мин	650
Капацитет оквира: метак	20 или 30



У првобитној варијанти INSAS систем је израђен као стандардна пушка, карабин и аутоматска пушка (LMG) калибра 5,56x45 НАТО. Током 1997. године пушка и LMG били су спремни за масовну производњу, а 1998. године прве јединице носиле су то оружје на паради за Дан републике. Масовно увођење пушке INSAS првобитно је одложено због недостатка домаће муниције калибра 5.56 мм, због чега је Индија купила значајне залихе муниције од израелске компаније IMI. До почетка 2016. године укупно 300.000 индијских војника наоружано је пушком INSAS. То оружје производи се у фабрици Ишафор (Ishapore Rifle).

Пројекат F-INSAS предвиђа модуларну опрему, одећу и наоружање индијског војника budućnosti

Оквирно, INSAS пушка заснована је на моделу Калашњикова АК-47, уз много измена. Основна измена односи се на дужи гасни цилиндар и клип и ротирајући затварач. Гасни систем опремљен је ручним регулатором гаса, сличног код пушке FN FAL. Ручица за пуњење налази се на левој страни подлактице, што је особина немачке НК G3 пушке. И кочница, односно регулатор паљбе, налази се на левој страни пријемника и омогућава појединачну и рафалну паљбу са најмање три метка. Кундак се склапа са стране, када се пушка носи, а током дејства се исправља. Стандардне пушке имају кундак и рукохват од дрвета или полимера.

Оквири су начињени од полупровидног полимера; у краћи стаје 20, а у дужи 30 метака. С горње стране налази се лежиште за нишанску справу или ласерски обележивач циља, а на врху цеви вођица за стављање ножа или ласерског обележивача циља. Могуће је користити пасивни ноћни оптички нишан, колиматорски рефлексни нишан, ласерски обележивач циља, као и било који други нишански систем предвиђен за монтирање на Viver (Picatini) шину. И за то оружје развија се адекватан систем за управљање ватром (СУВ) треће генерације, који омогућава војнику брзо откривање, једноставније гађање и велику ефикасност уништавања циља дању и ноћу. Подсистем за управљање ватром омогућава коришћење више типова оптичких и ласерских нишана.

F-INSAS систем војничког наоружања и опреме

Пушка је развијана као део војничког борбеног система F-INSAS (Future Indian National Small Arms System)¹⁰. Систем војничког наоружања и опреме F-INSAS представља пројекат опремања индијских војника савременим наоружањем, опремом и аутономним подсистемима по узору на многе светске програме. Индијско министарство одбране тим пројектом намерава да обезбеди ефикасност дејства војника на бојишту, умањи смртност односно повећа преживљавање и мобилност. Програм се реализује под мотом: војник треба да буде самостална борбена машина¹¹. Основни делови борбеног војничког система су савремени шлем отпоран на пешадијску муницију и фрагменте експлозија, са визиром. Заштита шлема треба да одговара нивоу III савремених светских стандарда за заштитну опрему. То значи да треба да спречи пробијање које би могла да изазове муниција калибра 9 мм. Визир мора да заштити, како од дејства балистичког оружја, тако и од ласера, односно топлине коју изазива ватра на бојишту.

На шлему налазила би се лампа за осветљавање, термички сензори, камере са напредним могућностима дневног и ноћног осматрања, сензори за НХБ опасност, а у њему аудио слушалице и компјутер. Визир, такође, треба да има виртуелне особине, односно да служи и као монитор еквивалента 17 инча и омогући компјутерско генерисање и приказивање података, слика и текста с унутрашње стране.

¹⁰http://www.defenseworld.net/news/11907/Indian_Army_to_Break_up_Future_Soldier_Program_into_Two_Parts#.VtMYsl_Uail

¹¹<http://www.thehindu.com/todays-paper/tp-national/tp-newdelhi/article3130405.ece>

Лична одећа индијског војника будућности, како кажу документи о пројекту, биће лагана и од материјала који је неподерив, а уједно садржи особине непробојности за ниво IV. Уз то, биће отпорна на ватру и водоотпорна, а омогућаваће кожи да „дише“, а садржаваће и одређене електронске компоненте.



Компоненте индијског система војничког наоружања и опреме будућности F-INSAS

Додаци на јакни треба да омогуће распоред терета који неће оптерећивати војничко тело на појединим местима, а неће отежавати ни кретање. Поседоваће особине које ће је чинити добрим заштитником од дејства РХБ оружја.

На деловима који су највише изложени дневној светлости налазиће се ћелије које ће упијати сунчеву енергију намењену за пуњење преносног војничког компјутера и друге електронске опреме.

Спољни део одеће обезбедиће, такође, снабдевање кисеоником, а сам материјал треба да се понаша као респиратор који штити тело од отровних гасова и дима. На коленима и лактовима налазиће се ватроотпорни јастучићи. Рукавице ће бити израђене од сличног материјала.

Планира се и развој заштитног прслука са лежиштима за флексибилне балистичке керамичке плоче на предњем делу тела, леђима и препонама. И прслук ће садржавати интегрисану електронску опрему као и јакна. У битним деловима одеће биће интегрисан и интерфејс који ће омогућавати да савремена рачунарска опрема аутоматизује поједине заштитне и биолошке функције, као и системе за праћење здравственог стања. Биће ту и уграђен систем за глобално позиционирање (GPS), лежишта за прикључење каблова са периферним уређајима и конектори.

Одећа ће моћи да мења боју у зависности од околине. Већ је на неколико светских изложби војне опреме представљен индијски пројекат маскирне јакне „хиперневидљиве одеће Индија“ (Hyper Stealth India). Предвиђен је и систем контроле температуре и микроклиматски уређај за грејање и хлађење. На појасу ће моћи да се носи боца за воду, а ручне бомбе и муниција биће распоређени по џеповима који оптимизују расподелу тежине на војника.

Нова униформа имаће сензоре за праћење здравственог стања и детекцију промена које ће омогућавати пружање брзе адекватне медицинске помоћи. И рубље мора имати способност да упија влагу, али и да буде отпорно на високе температуре и самогасиво. Ципеле треба да штите стопала, да не клизају, а у њима ће бити уграђени експлозивни сензори за детекцију противпешадијских мина. Систем обухвата и уграђен пречистач воде за пиће.

Индијско будуће оружје

Поред већ развијених пушака и пушкомитраљеза у саставу пројекта F-INSAS индијска војна индустрија развија подсистеме оружја, који имају вишекалибарне особине (Multi-calibar weapons). Такви борбени пешадијски системи омогућиће да појединац дејствује на различитим даљинама са једним вишекалибарним оружјем који подразумева пушку са потцевним бацачем граната. Систем укључује оружја у калибру 5,56 мм, 7,62 мм и новим 6.8 мм, који се по први пута развија у Индији. Дефинисано је да подсистем садржи и ласерски даљиномер, као и GPS уређај, што треба да обезбеди прецизну индиректну ватру. У сарадњи са Израелом, индијске развојне лабораторије пројектују две врсте наредне генерације пешадијских пушака. Међу њима су CQB карабин (Close Quarter Battle carbine), представљен на индијској изложби наоружања DefExpo 2014. године, као прототип „вишекалибарног индивидуалног система наоружања“ ARDE-DRDO MCIVS (Multi caliber individual weapons system). Систем је лакши од пушке INSAS и тежи само 3 кг. Поседује потцевни бацач граната UBGL (Underbarrel Grenade Launcher), као и термалне нишане или обичне холографске Red Dot нишане. Ласерски обележивач циља поставља се с горње стране оружја, на пикантини шину. Тиме се побољшава свестраност употребе вишекалибарних оружја.

Програм F-INSAS систем војничког наоружања и опреме обухвата и друге компоненте, подсистеме и опрему, која уз интегрисане вишенаменске уређаје за осматрање и управљање ватром поседује мноштво сензора који треба да обезбеде војнику већу вероватноћу преживљавања у борби и ефикасније дејство по противнику. Међу њима су спектроскопски, електромагнетни и сензори радио-фреквенције који ће војника упозоравати о опасности у којој се налази, ометати противничке осматрачке и нишанске системе и обезбедити прецизност у дејству.

У јануару 2015. године објављено је да је индијска војска одлучила да спроводи програм F-INSAS у две фазе. У првој фази обезбеђују се ефикасни борбени системи за копнену војску са квалитетним пушкама и карабинама. У тој фази војска ће развијати и личну заштитну опрему, као што су шлемови и заштитни прслуци а, тежиште је на системима за управљање ватром. Програм обухвата и набавку пушака Bereta ARKS 160 (Италија), Kolt CM 901 (САД), CZ-805 Bren (Чешка) i Galil ACE (Израел).

Ракетни системи

Одмах иза тенкова и оклопних транспортера на паради су у маршевском поретку представљена два самоходна ракетна система из арсенала крстарећих ракета и противбродског наоружања индијске војске. Ватрени део система представљају надзвучне крстареће ракете типа „Брамос“ (BrahMos). Систем за осматрање, откривање циљева и навођење ракета, односно за управљање ватром, налазио се на посебним возилима. Сам противбродски ракетни систем представљен је на макети брода.

Тиме је наглашено да је систем развијен у неколико варијанти. На паради је представљена копнена верзија система на возилима, макетом је приказан систем у наоружању ратне морнарице постављен на бродовима, а у пратећој документацији налази се и податак да се та ракета лансира и из авиона „Сухој“ (Sukhoi-30MKI), који се налази у ваздухопловним снагама Индије. Порука је јасна – Индија поседује савремен крстарећи ракетни одбрамбени систем за дејство из све три борбене димензије. У индијским војним часописима објављен је и податак да је тестирано испаливање те ракете из подморнице¹².



Противбродски ракетни систем „Брамос“ на макети брода

¹² <http://economictimes.indiatimes.com/news/defence/brahmos-to-be-test-fired-from-su-30mki-in-2016-heaviest-ever-missile-flown-on-that-jet-sudhir-mishra/articleshow/50848753.cms>



Копнена варијанта ракетног система „Брамос“ на возилима

Пројекат развоја крстареће ракете „Брамос“ реализован је у сарадњи са Русијом. Објављени су и подаци да је реч о суперсоничном крстарећем пројектилу домета до 290 км. Ракета лети брзином од 2,8 маха и носи конвенционалне бојеве главе са 300 кг експлозива.

Од противавионских ракетних система на паради је виђен ракетни систем земља-ваздух „Акаш“ (AKASH SAM, Akasa). Реч је о оружју на моторним возилима за одбрану територије у систему противракетне одбране средњег домета. Развијен је по плану министарства одбране у њиховим истраживачким и развојним институтима за истраживање ракетних и електронских система. Домет ракета је 30 км, а ефикасно дејство на летелице је на висини до 18.000 метара. Специфичност тог ракетног система јесте да поседује способност да неутралише антене и електронске компоненте на авиону и тако онеспособи одбрамбене системе летелице, што обезбеђује бољи погодак и већу ефикасност. Може се употребити и против крстарећих и балистичких ракета. Налази се у оперативној употреби индијских ваздухопловних снага.

Батерија оружја „Акаш“ састоји се од четири 3Д пасивна електронска радара и четири возила, са три пројектила на сваком. Цео систем је повезан у јединствену мрежу командовања и управљања. Свака батерија може да прати до 64 циља и да дејствује по 12 њих. Пројектил има 60 кг експлозива и пре-фрагментисану бојеву главу са близинским детонатором. То је потпуно мобилан систем, способан да заштити јединице од непосредног дејства авијације, било да се налазе у покрету или на бојишту. Оружана платформа је интегрисана на возилима са точковима. Првобитно је систем „Акаш“ замишљен као ПВО САМ за ратно ваздухопловство, али је тестиран и у улози трупне противракетне одбране. Систем омогућава противваздухопловну одбрану територије површине до 2000 км².



Систем „Акаш“ uveden је у оперативну употребу 2015. године у првом пуку ПВО, у саставу ратног ваздухопловства Индије

Тај систем развијан је као верзија Mark-I од 1990. и усавршаван је до 1997. године. Настављен је развој 2010. године као варијанта Mark-II. Трупно тестирање система обављено је у наредне две године.

Пројектил има могућност пресретања летелица у опсегу од 30 до 35 км и повећану тачности система за навођење и управљање ватром. Сама ракета има масу од 720 кг, пречник 35 цм и дужину 5,78 метара. Пројектил може да издржи оптерећења од 15 g и оспособљен је да прати издувне гасове авионског мотора, односно, како кажу инжењери, да се упусти у потеру за репом авиона. Израђена је од композитних материјала. Противракетни систем интегрисан је у аутоматизовани осматрачки систем за рано упозоравање са дометом до 150 километара.

Индијски војни стручњаци утврдили су да постоји велики број могућности за примену „Акаш“ оружја у независном програму и у групном режиму за неутралисање претњи, и утврдили су више циљних сценарија за употребу. У групној формацији четири батерије могу бити распоређене у различитим геометријским формацијама. Тако, у формацији квадрата једна „Акаш“ батерија може бранити површину од 62x62 км, а у линеарној конфигурацији површину од 98x44 км. Трапезоидна конфигурација омогућава одбрану највеће површине у односу на било који други облик распоређивања и покрива површину од 5000 квадратних километара.



Балистички пројектил система „Агни

Свака батерија може дејствовати на четири мете истовремено. Систем може да се превози и железницом, друмовима или ваздушним простором.

Тај систем је 2015. године уведен у ваздухопловне снаге Индије у једном од ПВО пукова. Најпре је распоређен за ПВО одбрану војних ваздухопловних база у Гвалиору, Хашимару, Тејпуру, Јорхату и Пуну. Следећи пук биће опремљен и оперативан до краја 2016. године¹³.

Од ракетних балистичких система на паради је приказан пројектил „Агни-V”¹⁴. Систем је још увек у фази тестирања, а четврта фаза провере балистичких и других особености реализована је током фебруара 2016. године. Реч је о балистичкој ракети домета од 5000 до 8000 км која спада у категорију интерконтиненталних балистичких ракета (ICBM). Пројектил може да понесе 3 до 10 различитих бојевих глава од 1 до 1,5 тона експлозива. То значи да може да понесе и нуклеарне бојеве главе од 20 КТ до 150 КТ.

Парадну колону обогатио је и пролаз хидроавиона индијског ратног ваздухопловства, са макетама борбених летелица. Тиме је представљена синтеза тог вида оружаних снага, оспособљеног за војне активности, од транспорта до борбених дејстава, на копну, у ваздушном простору и води.

Индијско ваздухопловство IAF (India Air Force или Bhartiia vaju Sena) има дугу и херојску традицију. Чини значајну компоненту тројства индијских оружаних снага, заједно са копненом војском и ратном морнарицом. Званично су основане 8. октобра 1932. године, а ове године Централна ваздушна команда прославиће 84. годишњицу свог постојања на аеродромима широм земље са великим ентузијазмом и жаром, како то посебно наглашавају индијски медији¹⁵.

¹³ <http://www.rediff.com/news/report/defence-news-indian-army-gets-some-serious-firepower/20150505.htm>

¹⁴ <http://www.defenceupdate.in/the-importance-of-agni-v-to-indias-security/>

¹⁵ <http://www.festivalsofindia.in/Air-Force-Dai/Index.asp#sthash.vvBmKKg3.dpuf>



Хидроавион са макетама борбених летелица

На традиционалној паради поводом Дана републике наступ RV се одвијао по протоколу којим IAF празнују свој дан. Ваздухопловни контингент се састоји од четири ескадрона изабраних из састава корпуса. Свака јединица наступа са по две летелице у којима су изабрани истакнути пилоти. Док су авиони летели небом припадници ваздухопловног ешалона марширали су у колони на земљи.

Наступ IAF обележио је лет формације од 27 летелица. На челу ешалона била су четири хеликоптера Ми-17 В5 који су носили заставе, а пратила су их три хеликоптера Ми-35. У следећем налету била су три транспортна авиона C-130J Super Hercules и Boeing C-17, које су с обе стране пратила два борбена авиона Su-30MKI. Током прелета C-17 наглашено је да је 2015. године учествовао у евакуацији хиљаде индијских држављана из ратом разореног Јемена, као и у спасавања повређених након смртоносног земљотреса у Непалу.

Пет борбених авиона Јагуар летело је у формацији „стрелице“, након чега су свој налет извели пилоти у пет ловаца МИГ-29. Пратили су их три авиона Su-30MKI.

Завршетак параде обележио је вертикални узлет летелице Su-30MKI, маневар који индијски пилоти називају „Чарлијева ролна“.



Борбене летелице индијске авиације на небу Њу Делхија

Сам дефиле ваздухоплова на небу изнад Делхија представио је модерне летелице и способност пилота да их употребе у специфичним задацима. О летелицама које су парале небо над главним градом скоро све је познато. Представљене су као савремене ваздушне борбене машине, а плоти као вешти борци, спремни и увежбани да бране државно небо.



Индијска авијација у дефилеу над небом Њу Делхија

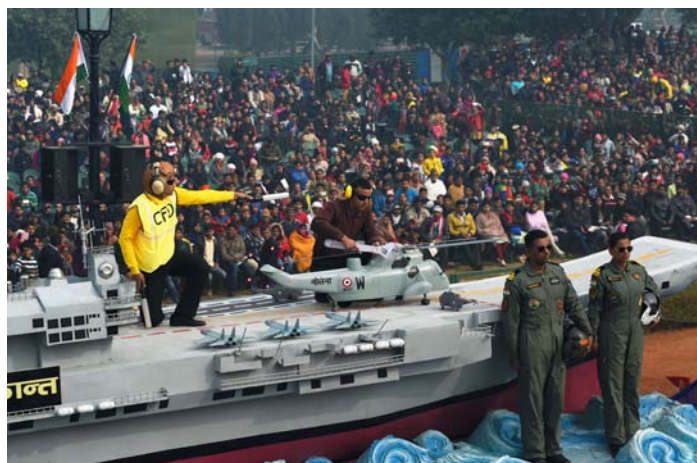
Ваздухопловни дефиле завршен је наступом индијске акрогрупе.

Индијска морнарица је, поред дефилеа припадника свог вида, представила макету новог носача авиона Викрант, који је у изградњи у бродоградилишту у јужној Индији, а очекује се да ће бити борбено спреман 2018. године.

Специфичности параде

Специфичност параде представљале су и бројне макете које су својом симболиком изражавале необичне и значајне детаље из индијског живота. Није то само начин показивања традиционалних вредности већ има посебан значај којим се наглашава поштивање многобројних културолошких и друштвених особености, разумевања политике и односа са другим народима и културама.

Посебан детаљ из војног домена приказан је, такође, помоћу макете. Наиме, носач авиона у саставу ратне морнарице продефиловао је парадном маршрутом у виду велике макете. Тиме се нагласило да Индија има два носача у саставу ратне морнарице. Носачи авиона су CV 1 (Vikramaditya ex-FSU Kiev), на којем су 12 MiG-29K/KUB Fulcrum FGA; 6 Ka-28 Helix A ASWhel/Ka-31 Helix B AEW hel. Други носач је CVS 1 (Viraat ex-UK Hermes) поседује два противракетна система VLS Barak-1 SAM, два авиона за контролу ваздушног простора AK230 CIWS, као и 30 SeaHarrier FRS 1 (SeaHarrier FRS MK51); 7 хеликоптера типа Ka-27 Helix ASW hel/Sea King Mk42B ASW hel).



Макета носача авиона са поруком да Индија може да брани и своје територијалне воде

При сагледавању општих околности у којима је обележена 70. годишњица независности треба имати у виду да је Индија многољудна и вишенационална земља, односно потконтинент површине 3.287.590 км², са популацијом од 1.276.267.000 становника. Главни град је Њу Делхи. У привредном развоју већ дуже времена бележи економски раст који јој омогућује већа издвајања за војни буџет. Капацитете за велику и снажну армију обезбеђује бројност становништва. У активної војној служби налази 1.325.000 војника и официра, а у резервном саставу још 1.155.000 људи. Годишњи војни издаци су приближно 37,1 милијарди евра (или 2,5% БНД). То је земља која издваја велики део својих научних и техничких способности и капацитета у развој савремене науке, технике и прати светске трендове. У војној индустрији ангажује значајне капацитете. Поред осталог, као залог своје независности и ради одвраћања потенцијалних противника, поседује и нуклеарно оружје.



Поглед на трасу којом су маршевали ешалони индијске војске и остали учесници параде, током обележавања највећег државног празника

Одбрамбену политику опредељују, поред ширих међународних збивања и ограничене тензије са суседима, унутрашње поделе, као и социјални проблеми. У самом развоју војске доста времена ослањала се на раније набављену технику и наоружање, па је, на пример, имала проблема са системима за ПВО и опремом специјалних снага. Међутим, потешкоће су превазиђене и индијска армија постаје све оспособљенија у складу са светским савременим војним трендовима.

Индија је, током свог постојања водила ратове, како са северним суседом Кином, са којом се и даље спори око граница, тако и са западним Пакистаном због Кашмира. Односи са Пакистаном носе додатну опасност, јер обе земље поседују атомско оружје.

На међународном тржишту војне опреме и наоружања Индија је била велики увозник. Али, показује амбицију да се из увозника оружја и војне опреме претвори у водећег светског извозника. На пример, годинама је истраживала могућности склапања уговора о куповини чак 200 хеликоптера за око милијарду долара, да би ове године обуставила потрагу. Уместо да их купују, производиће их сами – објавили су индијски медији.

Према проценама Стокхолмског института за истраживања мира SIPRI (Stockholm International Peace Research Institute), у наредних седам година Индија ће потрошити 130 милијарди долара на куповину и производњу оружја како би свој арсенал модернизовала савременим производима¹⁶.

Невероватно је јединство разноликости Индије, коју држава обезбеђује својом политиком, улагањем и развојем. Она се одражава и у војсци, па су све пратеће манифестације показале да су разлике кохезиони чинилац и да су међусобно тако испреплетене да не представљају посебан проблем у целокупној организацији и руковођењу оружаним снагама. Шта више, овако манифестоване пред широком јавношћу и широм света у медијима, представљају, такође, посебну атракцију за бројне посетиоце (парада је рекламирана и као посебна туристичка манифестација од националног значаја),

¹⁶ <http://www.sipri.org/media/pressreleases/2016/at-feb-2016>

којима оваква прилика представља необичан доживљај. Учесницима парада је пружила прилику да покажу своју различитост и однос према општој и посебној политици земље, а посебно према одбрани независности. Због тога је питање самосталности индијског народа, слободе од страног угњетавања и експлоатације коју је вековима трпела од својих колонизатора, најзначајнији чинилац разумевања и односа према стварности.



Несумњиво посебну специфичност индијске војске представљају мотоциклистичке структуре у полицији и војсци

Ако се покуша сагледати како су медији широм света извештавали о паради поводом дана Републике Индије, уочава се да је шароликост, визуелна допадљивост свих садржаја, маштовитост и једноставност изражавања путем макета и симбола опчињавала посетиоце и бројне гледаоце медија који су пратили сам пренос у реалном времену. Забележено је да је више од милијарду људи непосредно пратило сам пренос параде. А на многобројним сајтовима где се налазе видео-снимци, милионски су подаци о гледаности.

С друге стране нема изразитих критичких ставова ни коментара, који су, на пример, пратили прошлогодишње параде у Москви и Пекингу.

Такође, не може се рећи да је војни аспект параде доминирао у целокупној садржајности. Чак, напротив, војна компонента уклопљена је у општи амбијент као нормалан и уобичајен садржај. Али, поруке су довољно јасне. Војне традиција су саставни део свих културних и историјских вредности и, како је виђено, индијски народи их се не одричу. Шта више, у бројним приликама обележавају сећање на националне јунаке.

О самом представљању технике и наоружања у индијској војсци могло би се рећи да је вешто избалансирана и да је приказано само оно што је значајно за одбрану земље, што је ново и доприноси јачању уверења да се та земља може успешно одбранили од евентуалних противника. Није се гомилала техника на њуделхијском булевару; доминирало је људство и разноликости које наглашава поверење у снагу заједничке одбране. Оружје је само део свеукупних одбрамбених потенцијала.

Никола Остојућ (Nikola Ostojić)

e-mail: nikolaos@sbb.rs

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-8537-931X>

Иранске балистичке ракете¹⁷

Постојећи сукоб у Јемену истакао је важност одбране од балистичких ракета. Коалиција на челу са Саудијском Арабијом, у којој се налази пет од шест голфских држава, покренула је војну интервенцију са циљем да врати на власт збаченог јеменског председника. Упркос тврдњи коалиције да су уништили балистичке ракете у Јемену током првих ваздушних удара, након одређеног времена постало је јасно да су војне јединице у садејству са групом Ансар Алах успешно извршиле дисперзију лансера и балистичких ракета под својом контролом.



Противваздушни систем Патриот ПАК 3

Након интервенције у Јемену, Саудијска војска је разместила батерије ваздушне одбране Патриот у југозападном делу земље, близу Јемена, док су раније биле базиране на истоку краљевине.

Саудијске ракете Патриот припадају системима ПАК-2 и набављене су током деведесетих година. Ради се о истој верзији којој се приписује пресретање већине балистичких ракета које је Ирак лансирао на Саудијску Арабију током рата у Голфу 1990–1991.

Тада су се појавиле сумње о ефикасности система ПАК-2. Америчка конгресна истрага установила је да је било проблема у вези са функционисањем близинског упаљача и распрскавајуће бојеве главе због којих није било могуће ефикасно уништити ирачке варијанте балистичких ракета „Скад“ које су биле брже од балистичких ракета, а за које се подразумевало да ће их систем ПАК-2 уништити. Ирачке ракете су, такође, биле нестабилне због лошег пројектовања и имале су тенденцију урушавања приликом поновног уласка у атмосферу. Радари система Патриот имали су проблема са детекцијом бојевих глава у облаку насталих крхотина, тако да се често дешавало да су ракете навођене на делове уништене ракете. Постоји основана сумња да су ракете Патриот унишtile само 9% бојевих глава ракета „Скад“ на које су навођене, а питање је да ли је и та цифра коначна, јер се сумња да је уништен чак и мањи проценат ових ракета. Изгледа да се за добар део пријављених уништених ракета „Скад“ испоставило да су се распреле приликом поновног уласка у атмосферу.

¹⁷ Jane's Defence Weekly 28 October 2015, Jane's Defence Weekly 25 November 2015.

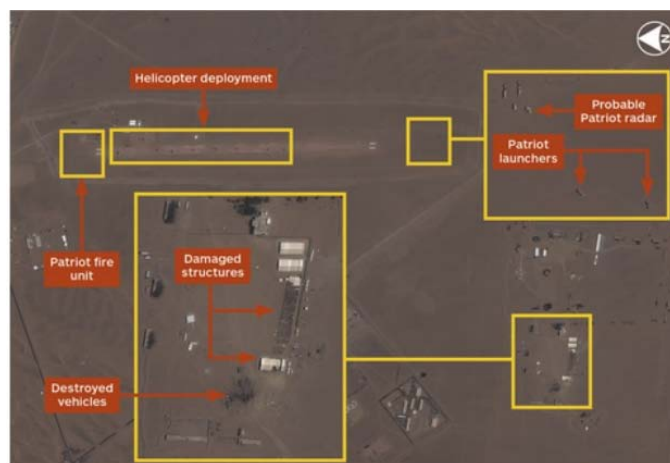
Упркос свих сумњи у погледу ракета система ПАК-2, саудијски званичници су пријавили два успешна пресретања ракета типа „Скад“ које су лансиране на краљевину из правца Јемена. Шестог јуна пријављено је уништење једне ракете, а 26. августа друго пресретање. Могуће је да се ради о јеменским ракетама пореклом из Русије, односно да је у питању руска ракета Р-17 (SS-1С „Scud –В“) из Северне Кореје, Hwasong-6, односно верзије ракете Scud-C.

У оба случаја саудијски војни врх је изјавио да су ракетни лансери одмах уништени након лансирања. То би значило да су Саудијци били у могућности да прате трајекторију долазеће ракете до места лансирања и да затим пошаљу летелицу која би је уништила пре могућности сакривања. То би такође значило да су најмање два лансера преживела авио-ударе. Претпоставља се да је Јемен имао шест лансера балистичких ракета пре почетка сукоба. Ови подаци се не подударају са наставком напада балистичким ракетама, тако да је могуће да је податак о уништењу ракетних лансера нетачан или да је у међувремену дошло до испоруке нових ракетних лансера.

Саудијски извештаји односе се на нападе групе Ансар Алах на ваздухопловну базу King Khalid у провинцији Асир и на саудијску електричну компанију близу града Џизан.

Међутим, саудијски званичници нису потврдили пресретања ракета које су испаљене 29. јула на постројење Ал Сулајил у којем Саудијска Арабија чува набављене кинеске балистичке ракете ДФ-3. Наводно ниједна ракета није погодила базу. Ова изјава наговестила је могућност да је пројектил испаљен, али да није погодио свој циљ. Постојење Ал Сујалил налази се 350 км од границе са Јеменом, тако да је ван домета ракета Р-17 и Hwasong-5. Иако би ракета Hwasong-6 могла по свом домету без проблема да погоди базу и да је лансирана унутар јеменске територије, те ракете познате су по мањку прецизности, нарочито на дужим путањама, што значи да је врло вероватно да је ракета промашила базу.

Није било никаквог одговора Саудијаца поводом тврдње да је балистичка ракета лансирана на поморску базу Џизан.



Сателитски снимак положаја хеликоптера и противваздухопловног система Патриот у Јемену

Ансар Алах је поткрепио своје тврдње емитовањем видео снимка на којем се види систем ОТП-21 Точка (SS-21 Scarab) који лансира ракету. Точка има краћи домет од ракета Скард, али је прецизнија и употребљава чврсто уместо течнo гориво, што омогућава много лакше оперативнo руковање. Постоји неколико места у Јемену која се могу користити за лансирање ракете 9M79 Точка домета 70 км, а ван тих места било би могуће употребити и систем 9M79-1 Точка У који има домет од 120 км.

Изгледа да је ракета Точка одговорна за најјачи ударац саудијској коалицији који се десио када је група Ансар Алах, 4. септембра 2015. године, лансирала ту ракету на коалицијску базу у области Сафир.

Коалиција није никада потврдила да је Точка погодила базу, али је пријавила велики број жртава тог дана. Званична новинска агенција Уједињених Арапских Емирата известила је о 22 погинула војника. И друге залиске земље, учесници коалиције, пријавиле су жртве. Сателитски снимци су потврдили могући удар ракете Точка на којима се виде оштећени објекти и изгорела возила. На снимцима је било могуће видети и две јединице система Патриот, свака са радаром AN/MPQ-53/65 и са по два лансера ракете. Изгледа су та два система постављена пред сам напад тако да је могуће да нису била оперативна у том тренутку. Употреба два система са мање лансера него што је то уобичајено одражава непредвидиву природу претње. Радари система Патриот AN/MPQ-53 нису ротирајући и могу захватати циљеве у сектору од 90 степени, тако да су зато инсталирана два примерка ради покривања веће територије.

Иранске ракете

Могућности јеменских балистичких ракета су минорне у односу на иранске у које су уложена велика средства ради компензације слабости ваздухопловних снага.



Ракета Qiam

Док иранске ракете дугог домета пуне међународне новинске наслове, Иран је наставио да развија оружја којима би могао да гађа земље Голфа. У оквиру дела развоја на који се обраћало мало пажње, Иран је током августа 2010. приказао нову ракету Qiam која је предвиђена да замени ракету Shahab-1 и Shahab-2 (Scud-C). Иран је приказао велики број ових ракета (44) у два наврата током марта 2014. године, што довољно говори о озбиљности програма.

Иако се претпостављало да се ради о развоју серија Скад, ракета Qiam нема стабилизациона пераја као њени претходници, што говори о томе да има већи домет и да ју је теже открити радаром. Њен домет је повећан са 300 на 800 км.

Иран у принципу нема великих потреба за ракетом домета 800 км с обзиром на то да се већина циљева у голфским земљама налази на раздаљини до 300 км од Ирана и да су у том случају ракете овог домета потребне само за гађање Израела. Са друге стране, већи домет омогућио би Ирану да лансира ракете Qiam из дубине своје територије, што би отежало непријатељу откривање лансера и њихово уништавање.



Иранске ракете Qiam без бојевих глава у подземном склоништу

Повећан домет такође значи да би Иранци могли започети нападе из праваца који нису покривени системима Патриот. На пример, мета ракета које су лансиране из источне провинције Систан и Балучистан, уместо преко Голфа, могла би бити обала УАЕ. У том случају неке од лансирних јединица система Патриот морале би бити окренуте ка истоку ради одбране, што би утицало на умањење расположивих ресурса и преправку постојећег система одбране. У таквом сценарију јединице Патриот које би биле усмерене ка правцу напада, биле би недовољне да испрате све циљеве и лансирају довољно пресретаца.

За разлику од ракета типа Scud B/C, Qiam поседује улазну бојеву главу која се одваја од степена ракете са мотором ван атмосфере земље. Улазна бојева глава има врло стабилни купаст облик, тако да нема про-

блема са нестабилношћу, што је била карактеристика једностепених ракета Скард када су употребљаване на већим даљинама. Стабилност умногоме повећава прецизност пројектила, док процес раздвајања степена прави два циља које прате радар противваздушне одбране, с тим да је улазно возило много мање и много теже за уништавање.

Серије ракета Fateh

Иран је развио балистичке ракете кратког домета на чврсто гориво, али је наставио да ради и са технологијом течног горива. Приказана је ракета Fateh-110, домаћи еквивалент Точке, тврдећи да је у питању врло прецизан оружни систем. Могуће је да је прецизност остварена коришћењем комерцијалног система GPS/GLONASS који би освежавао инерцијални навигациони систем ракете, а који би био осетљив на ометање у конфликту високог интензитета. У међувремену је урађено неколико модернизација ракете које су јој повећале домет од 200 на 250 км, а затим и на 300 км за модел треће генерације који је приказан током 2010. године. Четврта генерација ракете Fateh-110 приказана је током августа 2012. године и за њу је речено да има прецизнији систем вођења, али није најављено и повећање домета.



Иранска ракета Fateh-313

Иран је 22. августа 2015. године открио нову ракету Fateh-313, тврдећи да она има домет до 500 км. Као и са ракетом Qiam овакав додатни домет омогућио би Ирану да гађа много више локација у земљама Голфа, и то нападима из више праваца и са различитим путањама. Са друге стране, ракета Fateh-313 пуњена је чврстим горивом које не захтева редовно пражњење и чишћење ради превенције опасности од корозије.

С обзиром на постојеће снимке изгледа да је ракета Fateh-313 исте величине као и Fateh-110, што би значило да ју је могуће лансирати из истог лансера. Уколико је то случај, додатни домет је постигнут побољшањем летних карактеристика, односно аеродинамичког узгона, употребом јачег и ефикаснијег погонског система и/или умањењем масе, односно умањењем бојеве главе и конструкцијом тела ракете од лакшег материјала.

На фотографијама ракете Fateh-313 види се да се она разликује од ракете Fateh-110. Задња пераја су краћа, док су предња различитог облика. Јединица за навођење изгледа већа, али је то урађено на рачун предњег дела који носи бојеву главу, а не на рачун погонске секције. То би значило да је бојева глава ракете Fateh-313 знатно мања од оне на ракети Fateh-110 за коју се претпоставља да има масу 500 кг.



Иранска ракета Fateh-110

Нове верзије ракете Fateh-110 развијене су за нападе на америчке разараоче који су опремљени системом одбране од балистичких ракета Aegis који израчунава пресретање на средњем курсу ракета, док су ракете ван Земљине атмосфере. Ракета Khalij Fars, која је приказана у фебруару 2011. године, употребљава ИЦ трагач за навођење на топлотно зрачење брода у својој терминалној фази лета.

Иако су иранске тврдње да је систем успешно тестиран и да је започета серијска производња дочекане са скепсом, поверљиви извори америчког Стеј департмента наводе да Иран „прикривено уводи у оперативну употребу“ противбродске ракете.

Током 2014. године приказане су нове врсте ракета Fateh-110, Hormuz-1 и 2. Иако су нејасне разлике између ове две ракете, изгледа да је бар једна од њих противрадарска ракета која се наводи на радарске система бродова. У теорији, могуће је употребити исти систем вођења и за нападе на радарске станице на копну, што значи да је могуће да Иран развија оружје којим је могуће гађати сензоре битне за системе противракетне одбране. Упркос свему, Иранци још нису потврдили да су ракете серије Хормуз оперативне.

Балистичка ракета Emad

Најновија у серији балистичких ракета „вођена балистичка ракета” откривена је 11. октобра 2015. године и има домет до 1.700 км.



Балистичка ракета Emad

Када је ова ракета приказана, било је јасно да се не ради о потпуно новој ракети, већ о управљаној бојевој глави коју је могуће поставити на иранске серије Shahab-3/Ghadr и на тај начин им знатно побољшати прецизност.

Претпоставља се да домет иранске ракете са управљаном бојевом главом Emad зависи од тежине бојеве главе, облика ракете, као и од снаге и ефикасности мотора. У том смислу руски извори тврде да Shahab-3 има домет до 1.300 км са бојевом главом масе до 700 кг, док САД тврде да ракета са таквом бојевом главом има домет до 1.500 км, а да би верзија са продуженим дометом могла погађати циљеве на даљинама до 2.000 км, али са бојевом главом до 600 кг уколико би тело ракете било израђено од алуминијума уместо од челика.

Крстареће ракете

Чини се да се земље Голфа сада налазе под претњом напада крстарећих ракета, а не само балистичких ракета. У марту 2015. године Иран је приказао своју крстарећу ракету Soumar за коју тврди да је већ у серијској производњи.



Крстарећа ракета Soumar

Није изненађујуће што је ова ракета потпуно идентична совјетској ракети Kh-55. Украјински званичници су признали да је током 2005. године 12 ракета Kh-55 нелегално продато Ирану (а још 6 и Кини) без нуклеарних бојевих глава. Основна разлика је у томе што је Soumar развијен за лансирање са копна, а не из ваздушног простора (као првобитна верзија која је била интегрисана са бомбардерима Tu-95, Tu-160 и Su-24). Копнена верзија лансера ракета ипак би имала веће шансе за опстанак у конфликту високог интензитета у којем би иранске ваздухопловне базе биле прве на удару.

Иранци нису објавили податке у вези с дометом ракете Soumar, што је довело до спекулација да ли је домет сличан оном код совјетске ракете, што износи 2.500 км са бојевом главом од 400 кг. У том смислу постоји знатна разлика у домету с обзиром на то да се ракета лансира са копна, али се поставља и питање да ли је Иран успео да произведе мотор сличног капацитета као што је R95-300 на ракети Kh-55.

Иранци би могли, као алтернативу, искористити своје турбомлазне motore из породице Tolou који се налазе на њиховим противвродским ракетама. Иако је једноставније произвести турбомлазне motore, они троше више горива, тако да би у том случају њихов домет био мањи. То не би представљало велики проблем за Иран, чак и у случају да Soumar има упола мањи домет од Kh-55, јер би и у том случају велики број мета у голфским државама био доступан.

Укидање санкција

Очекује се укидање санкција Ирану на увоз највећег дела војне опреме, а санкције на технологију балистичких ракета биће укинуте касније.

Укидање ембарга на наоружање омогућиће Ирану да развије модерне ваздухопловне снаге на основу чега ће се знатно мање ослањати на балистичке ракете. Упркос томе, биће потребне огромне инвестиције у опремање иранске ваздухопловне флоте, како би, бар приближно, била изједначена са земљама Голфа.

Са друге стране, политички фактори ће, такође, утицати на расподелу средстава. Моћна исламска револуционарна гарда директно контролише балистичке ракете, али не и ратно ваздухопловство и сигурно је да неће пристати на умањење своје стратешке улоге и одговарајућих средстава. Они ће сигурно користити аргумент да је Ирану потребно да одржи производњу својих оружаних система уколико дође до поновног успостављања санкција. Није занемарива ни могућност продаје иранских ракетних система другим земљама. У том смислу врло је вероватно да ће Иран наставити са великим улагањима у свој програм стратешких ракета.

Ти програми могу бити и значајно унапређени оног тренутка када буду укинуте санкције на технологију балистичких ракета. Тада ће Иран моћи да набави опрему као што су модерни жirosкопи и акцелерометри потребни за напредне инерцијалне навигационе системе који ће омогућити већу прецизност ракета и мању зависност од сателитског навођења. Иран ће тада бити у могућности и да увезе метале високе издржљивости који би им омогућили изградњу нових ракета од лакших материјала, а тиме и постизање већих домета.

Програми противракетне одбране у Голфу

Четири државе Голфа – Кувајт, Катар, Саудијска Арабија и УАЕ, тренутно се налазе у фази одговора на растућу иранску претњу и модернизују своје противракетне системе одбране или набављају нове.

Друге две земље Голфа – Бахреин и Оман не развијају системе противракетне одбране. Бахреин не поседује средства за набавку тако скувих система и ослања се на америчку батерију система Патриот која брани базу пете флоте (САД, поред тога, имају батерије Патриот и у Кувајту, Катару и УАЕ).

С обзиром на своју улогу медијатора Оман сматра да неће бити на мети иранских балистичких ракета. Држава је поручила систем ваздушне одбране NASAMS са ракетама AIM-120, иако то није систем који би могао пресретати балистичке пројектиле, али би се могао супротставити крстарећим ракетама које би прелетале Оман на свом путу према УАЕ или Саудијској Арабији.

Кувајт

Кувајт је тражио модернизацију шест радара система Патриот. Држава поседује пет база опремљених системима Патриот, од којих свака има једну ватрену јединицу која се састоји од радара и пет лансера. Кувајт је затражио модернизацију својих 60 ракета PAC-2 на стандард GEM-T који подразумева нови дигитални упаљач са много бољим ефектом против балистичких ракета. Овај стандард подразумева и посебан осцилатор који побољшава способност система за праћење малих авиона и крстарећих пројектила.

Кувајт је, такође, тражио 80 ракета PAC-3 које су мање од модела PAC-2, а пројектоване су за уништавање претње директним кинетичким ударом уместо експлозије путем близинског упаљача. Сваки модификовани лансер може бити напуњен са по 16 ракета PAC-3 или четири ракете PAC-2. У току је рад по склопљеним уговорима за модернизацију и испоруку наведених оружних система.

УАЕ

Сличан програм води се и у УАЕ с тим што се ту ради о девет ватрених јединица са по четири лансера и једним резервним лансером и радаром – укупно 288 ракета PAC-3 и 216 ракета GEM-T.

УАЕ је отишла и корак даље од Кувајта, тако што је поручила систем THAAD (Terminal High Altitude Area Defence) којим је могуће пресретати балистичке пројектиле док су још ван Земљине атмосфере. Систем лансира ракету која развија егзоатмосферско „кинетичко убојно возило” које употребљава инфрацрвено навођење у терминалној фази за навођење и пресецање ракете. Овај систем обезбеђује додатни појас заштите и омогућава лансирање ракета Патриот на преостале циљеве који улазе у Земљину атмосферу.

УАЕ је заинтересована за испоруку три ватрене јединице система THAAD, свака са по три лансера и резервним радаром AN/TPY-2, што наводи на закључак да УАЕ има намеру да развије шест лансера за сваку од своје три ватрене јединице. Тиме ће УАЕ бити први извозни клијент за систем THAAD.



Систем THAAD

У међувремену, тачније 14. новембра 2015. године, званичници УАЕ пријавили су успешно пресецање две балистичке ракете у Јемену од стране система Патриот.

Катар

Катар је изабрао исту комбинацију Патриот/ THAAD као и УАЕ. Затражена је набавка две ватрене јединице THAAD, свака са по шест лансера и 150 пресретаца. У оквиру пакета набавке система THAAD налази се и радар за рано упозоравање непознатог типа поврх радара AN/TPY-2 који је инсталиран на сваку од ватрених јединица. У исто време Катар је затражио 11 ватрених јединица Патриот са по четири јединице и 768 ракета PAC-3 и 246 ракета GEM-T.

Саудијска Арабија

Изненађујуће је да сила као што је Саудијска Арабија каска за својим суседима у погледу наруџбеница за новим ракетним системима одбране. Током 2014. године краљевина је затражила 202 ракете и одговарајуће пакете модификација за своје лансере система Патриот. У међувремену Саудијска Арабија је потписала споразум са америчком владом о набавци 320 ракета РАС-3, а очекује се набавка још 280 ракета тог типа током 2017. године.

Ради боље координације и ефикаснијег деловања ракетне одбране, земље Голфа морале би да успоставе један оперативни центар који би контролисао сва расположива средства, али локација таквог постројења сигурно ће представљати врло осетљиво политичко питање.

Драган Вучковић (Dragan Vučković),
e-mail: draganvuckovic@kbcnet.rs,

ORCID iD:  <http://orcid.org/0000-0003-1620-5601>

Руски нуклеарни торпедо¹⁸

Деветог новембра 2015. године два канала федералне телевизије приказала су податке о потенцијалном новом нуклеарном торпеду руске морнарице. Развој овог торпедо откривен је током посете председника Путина и министра одбране Сергеја Шојгуа Сочију, где су вођени разговори о питањима одбране, укључујући руски буџет одбране.

Током снимка, садржај неких документа био је намерно замућен, али један од њих није и на њему је писало „Океански вишенаменски систем Статус-6. Иако је снимак повучен, многи су га снимили током емитовања и затим је био коментарисан у руским и у другим медијима.

Снимци сугеришу да је систем Статус-6 нуклеарни торпедо великог домета и велике брзине који развија Централни пројектни биро Рубин из Сент Петербурга.

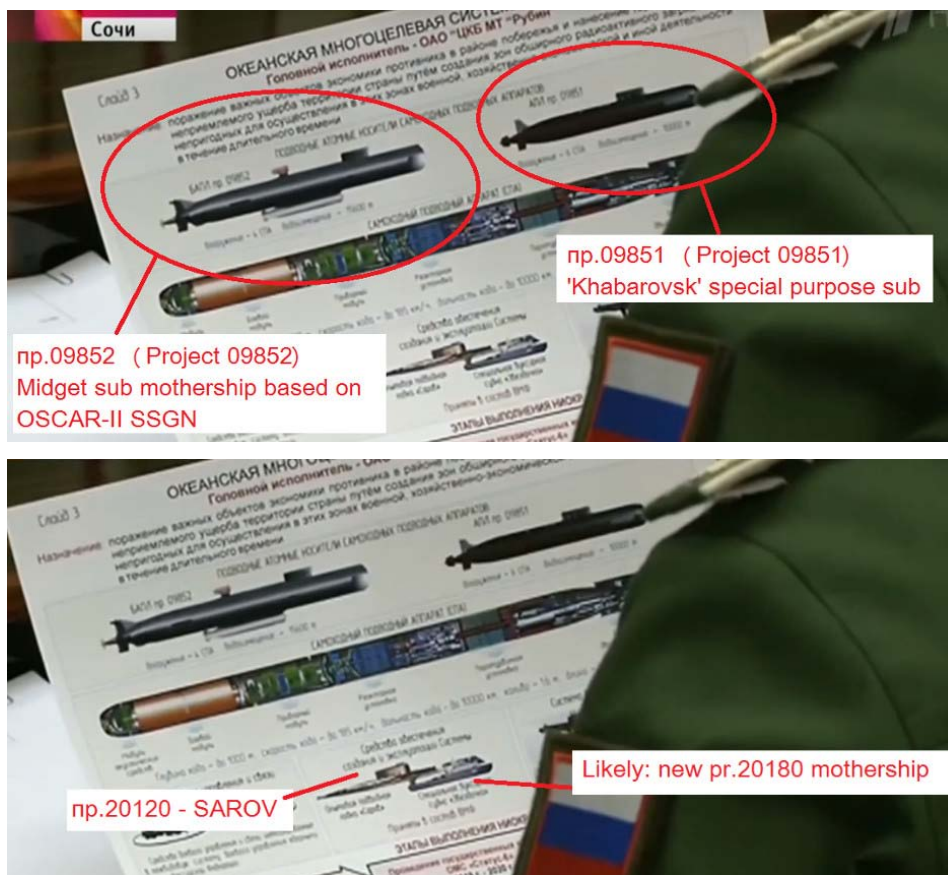
Торпедо покреће мали нуклеарни реактор, а изгледа да је опремљен нуклеарном бојевом главом. Торпедо има домет око 10.000 км, брзину од преко 90 км/час и максималну дубину зарањања од преко 1.000 метара. Развија се и оклопљена верзија која би била имуна на противмере. Претпоставља се да торпедо покреће мали нуклеарни реактор.

На основу описа система, он је пројектован за остваривање зоне забрањеног приступа економским постројењима на непријатељевој обали. Торпедо би био у могућности да радиоактивно контаминира такву област, што би непријатељу онемогућило употребу током веома дугог периода. Судећи по подацима из снимљеног материјала, испитивања на овом оружном систему требало би да започну током 2020. године.

На интернету су се појавили многи коментари о систему Статус-6. На сликама су приказане подморнице које би могле бити носачи торпедо. Ради се подморници пројекат 09852, базираној на подморници класе Оскар 2,

¹⁸ Jane's Defence Weekly 18 November 2015.

али и о подморници специјалне намене Пројекат 09851 „Кабаровск“. Подморницу класе Кабаровск такође је пројектовао пројектантски биро Рубин, а ради се такође о подморници на нуклеарни погон која може зарађати до великих дубина.



Такође, помињу се и подморница Пројекат 20120 „Саров“ и матични брод Пројекат 20180.

pr.20120 - SAROV



Вероватно је да ће нуклеарни торпедо бити тестиран на подморници Саров.

Стручњаци Пентагона претпостављају да ће бојева глава торпеда бити снаге од неколико мегатона, а с обзиром на то да се креће подводно биће у стању да заобиђе америчку противракетну одбрану намењену обарању руских интерконтиненталних стратешких ракета.

Овакав оружни систем више спада у подводно беспилотно пловило и било би намењено уништавању великих лука на непријатељевој обали које након нуклеарне детонације не би могле да се користе много година.

Драган Вучковић (Dragan Vučković),

e-mail: draganvuckovic@kbcnet.rs,

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-1620-5601>

Кургањец 25 на тестирању¹⁹

Руска војска је започела испитивања борбеног возила пешадије Кургањец 25. Очекује се, у складу са буџетским могућностима, да ово БВП замени сва возила БМП-2 и БМП-3 која се налазе у руској војсци.



Борбено возило пешадије Кургањец 25

Кургањец 25 пројектовала је и произвела компанија Курганмашзавод, која је производила БМП-3 и БМД-4 десантно јуришно возило.

Бруто маса возила је 25 тона, али она зависи од варијанте и инсталираног оружаног система.

БМП-3 се није производио у великим количинама за руску војску, али јесте за извозно тржиште.

¹⁹ Jane's International Defence Review November 2015.

У поређењу са БВП БМП-3, Кургањец 25 има потпуно нови дизајн трупа, возач се налази на предњој левој страни, а дизел мотор на предњој десној страни, што оставља празним остатак трупа за уградњу изабраног оружаног система и за десантно одељење.

Основни недостатак возила БМП-3 био је што је одељак за мотор био постављен испод задње платформе, што је доводило до велике скучености у десантном одељењу.

На возилу Кургањец 25 труп улази и излази преко покретне рампе, док припадници десантног одељења седе на седиштима које ублажавају детонацију на странама возила и окренути су једни према другима.

Ново возило је опремљено новом даљински управљаном куполом коју је развио пројектантски биро КБП. Ова купола налази се и на тешком оклопном транспортеру Т-15 који је израђен на основу тенка Т-14 Армата.

Купола је опремљена потпуно стабилисаним топом 30 мм 2А42 са дво-струким храњењем. Топ има 160 пробојних граната спремних за употребу и 340 високоексплозивних граната. На левој страни налази се коаксијални митраљез 7.62мм са 2.000 метака спремних за употребу.

У случају напада на тенкове и друге вредније мете, са сваке стране куполе налазе се по две ласерски вођене противтенковске ракете Корнет/Корнет-ЕМ домета од 8.000 до 10.000 м у зависности од верзије. Иако су ове ракете намењене нападу на копнене циљеве, оне поседују способност напада на споре и нисколетеће хеликоптере.

Ракета Корнет-ЕМ већ је у употреби у руској војсци, при пешадији, али и монтирана на кров лаког оклопног возила Тигр.



Врсте бојевих глава су високоексплозивна тандем бојева глава и термобаричка бојева глава. Тандем бојева глава користи се у случају напада на циљеве опремљене експлозивно-реактивним оклопом, док је термобаричка бојева глава врло ефикасна у урбаним операцијама.

Купола кургањца опремљена је ласерским детекторима, дефанзивним системом као и бацачима граната који покривају радијус од 360 степени. Купола се окреће помоћу електричних мотора и поседује компјутеризовани систем управљања ватром који, поред осталих, користи и сензоре смештене на крову, као што је метеоролошки сензор.

Командир и нишанција седе на крају погонског дела и могу ангажовати циљеве употребљавајући флат дисплеје. Сваки има стабилизовани дневно-термални осматрачки уређај у који је уграђен ласерски даљиномер.

Осматрачки уређај командира је панорамски и омогућава систем напада „ловац-убица“.

Нису објављени детаљи у вези оклопног пакета возила Кургањец 25.

Русија је употребљавала труп од алуминијума за оклопе своје серије БМД, али је труп Кургањца 25 вероватно од челика са паковањем *appliqué* оклопа који је вероватно мешавина пасивног и ЕРА оклопа.

Оклопно возило пешадије опремљено је даљински управљаном куполом наоружано митраљезом 12.7 мм и бацачима граната.

Трећи припадник породице Кургањец је возило за извлачење и поправку на којем је монтирана дизалица и предњи дозер-стабилизатор. На крову се налази раван део који служи за складиштење.

Као и претходници БМП-3, сва возила Кургањец 25 су у потпуности амфибијска и покрећу се помоћу водених млазница које се налазе испод задњег дела трупа.

Драган Вучковић (*Dragan Vučković*),
e-mail: draganvuckovic@kbcnet.rs,

ORCID ID:  <http://orcid.org/0000-0003-1620-5601>

Израелски ласерски систем²⁰

Израелска компанија Rafael Advanced Defence Systems наставља са развојем и усавршавањем свог високоенергетског ласерског система Iron Beam док чека на одлуку о финансирању и набавци израелског министарства одбране.

Компанија је тренутно у процесу финог подешавања алгоритама и развијања програма модернизације за ласер који је намењен онеспособљавању ракета, минобацачких мина и беспилотних летелица. Iron Beam користи пар вишекиловатних ласера за онеспособљавање долазећих пројектила на даљинама до 2 км. Покретна батерија система Iron Beam састоји се од радара, командно-контролне јединице и више ласерских система за уништавање циљева.

²⁰ Jane's International Defence Review December 2015.



Израелски ласерски систем Iron Beam

Ласерски систем Iron Beam има више предности у односу на конвенционалне ракетне системе. Системи ракетне одбране су изузетно скупи, док један хитац система Iron Beam не кошта готово ништа, а не постоје реалне границе у погледу броја испалених хитаца. Са друге стране, за разлику од ракетних система овде не постоји могућност колатералне штете.



Ласер који је намењен онеспособљавању ракета, минобацачких мина и беспилотних летелица

Како Министарство одбране још званично није прихватило систем, још није одређено како ће се уклапати у постојећи систем слојевите ракетне одбране који се састоји од система Iron Dome, David's Sling и Arrow 3.

Са друге стране, у погледу потенцијалног извоза, масовнија употреба беспилотних летелица умногоме даје на значају оваквим системима.

Компанија не жели да изнесе имена потенцијалних клијената, али наводи скорији случај у којем је севернокорејска беспилотна летелица дошла до званичне резиденције јужнокорејског председника у Сеулу. У оваквим случајевима било је изузетно опасно лансирати ракету која би оборила беспилотну летелицу изнад густо насељеног града. Овакви случајеви се убрзано понављају, а нарочито опасно је прелетање нуклеарних електрана малим беспилотним летелицама у које је могуће сместити одговарајуће количине експлозива.

Званичници компаније такође инсистирају на томе да је, иако постоје системи за ометање беспилотних летелица, могуће ометати систем за сателитско навођење, али је немогуће ометати инерцијални навигациони систем.

Иако је систем првобитно намењен за онеспособљавање ракета, артиљеријских граната и минобацачких мина, Iron Beam може без проблема онеспособљавати и беспилотне летелице с обзиром на њихову малу брзину и слабију конструкцију.

Драган Вучковић (Dragan Vučković),

e-mail: draganvuckovic@kbcnet.rs,

ORCID ID:  <http://orcid.org/0000-0003-1620-5601>

Руске ваздушнодесантне јединице добијају SPRUT²¹

Руске ваздушнодесантне јединице добиле су мали број возила 2S25 SPRUT-SD, свега 15 до 25. У међувремену компанија Volgograd Machine Building Joint Stock Company израдила је модернизовану верзију овог возила под ознаком 2S25 SPRUT SDM1 са новом куполом која користи делове ваздушнодесантног возила BMD-4M које је већ у производњи за руске ваздушне јединице.

Развој и производња возила 2S25 SPRUT-SD рађена је у Волгограду, али је производња нове верзије у постројењима компаније Kurganamshzavod где се производе борбена возила пешадије BMD-4M и BMP-3.

Руски извори наводе да се очекује производња до 150 примерака 2S25 SPRUT SDM1 за руске ваздушнодесантне јединице.

Нови систем сличан је оригиналу, возач се налази на предњој страни, купола са два члана посаде на средини возила, а дизел мотор на крају. Мотор је исти као онај који се налази на првобитном примерку.

2S25 SPRUT SDM1 има тело израђено од завареног челика и куполу која обезбеђује заштиту од пешадијског наоружања и гелера с тим да је највећи степен заштите на предњем делу куполе.

²¹ Jane's International Defence Review December 2015.



Возило 2S25 SPRUT-SD

Купола новог возила 2S25 SPRUT SDM1 је другачијег облика. Основно наоружање представља топ 125 мм 2A75M са глатком цеви, стабилизован у две равни, опремљен екстрактором дима, термалном облогом и системом референци цеви топа. У возило је могуће сместити до 40 граната за топ, од којих се 22 налази у аутоматском пуњачу, док је остатак од 18 потребно ручно сместити у пуњач.

Гранате се пуне у зависности од тактичке ситуације, али се бојеви комплет обично састоји од 20 распрскавајућих граната, 14 поткалибарних пробојних граната са пенетратором и шест високоексплозивних противтенковских граната. Поред тога, могуће је ускладиштити до шест ласерски вођених пројектила. Нишанција има стабилизовану дневно-ноћну јединицу SO-SNA-U, монтирану на крову са ласерским даљиномером и каналом за ласерско навођење пројектила.

Командир има, такође, панорамску дневно-ноћну нишанску справу која је монтирана на крову.

Најновија верзија ласерски вођеног пројектила има високоексплозивну тандем бојеву главу са максималном даљином до 5.000 м.

Митраљез ПКТ 7.62 мм је монтиран коаксијално са главним топом и његов борбени комплет је 2.000 метака, док се на крову налази даљински управљани митраљез ПКТМ 7.62 мм који се није налазио на првобитној верзији. На страни куполе налазе се три лансера граната 81 мм. Возило може полагати димну завесу и директним убризгавањем дизел горива на издувни систем.

Кључна особина возила 2S25 SPRUT SDM1 је подесиви хидропнеуматски амортизациони систем који омогућава возачу мењање клиренса од 100 до 500 мм.

Погонски блок састоји се од дизел мотора UTD-29 који развија 500 КС и повезан је хидромеханичком четворостепеном трансмисијом, што омогућава возилу достизање максималне брзине до 70 км на час.

Борбена маса возила је 18 тона са односом снаге/масае од 27.77 кс/тона.

Поред тога што је возило преносиво ваздушним путем, оно је у потпуности амфибијско и може се користити у операцијама такве врсте.

У води се покреће путем две водене млазнице које се налазе на свакој страни задњег трупa. Водене млазнице гурају возило брзином која није мања од 7 км на час.

Могуће је гађати топом од 125 мм док се возило налази на површини воде, али само преко предњег дела возила у размаку од 30 степени лево и десно.

Развој овог возила, као и увођење возила BMD-4М, показује да руска војска наставља са значајним опремањем својих ваздушнодесантних снага.

У земљама НАТО не постоји систем који би се могао поредити са 2S25 SPRUT SDM1. Америчка војска је у једном периоду поседовала тенк М 551 Sheridan који је званично носио назив оклопно извиђачко ваздушнодесантно јуришно возило, а њега је требало да замени М8 систем покретног топа. Међутим, тај пројекат је укинут.

Америчка војска сада се труди да развије систем новог мобилног заштићеног возила са ватреним системом, што ће представљати модернизацију постојеће платформе.

Драган Вучковић (Dragan Vučković),

e-mail: draganvuckovic@kbcnet.rs,

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-1620-5601>

Немци развијају нови тенковски топ²²

Тенковски топови са глатком цеви компаније Rheinmetall Defence L/44 и L/55 постали су главно оружје за већину тенкова са запада.



RH 120 LLR L/47 120 mm компаније Rheinmetall

²² Jane's International Defence Review December 2015.

Међутим, упркос константној модернизацији топова и пројектила доћи ће тренутак када чак ни топ L/55, нити његова муниција, више неће одговарати савременим изазовима.

Компанија Rheinmetall почела је истраживања у вези с новим топом за који се верује да ће бити у калибру 130 мм са аутоматским пуњачем, што ће подићи брзину паљбе и смањити посаду на три члана – командира, нишанџију и возача.

Претпоставља се да ће ново оружје бити инсталирано на потпуно ново возило, можда оно које ће заменити немачки тенк Leopard 2 и француски Leclerc.

У међувремену, компанија Rheinmetall Weapon and Munition ради на пројектима који даље развијају породицу пројектила за топове L/44 и L/55, али углавном из сопствених фондова.



Пројектил APSFSDS-T DM11

На пример, лошије дејство првобитног пројектила DM12 (HEAT-MP-T) против побуњеничких мета довео је до развоја новог пројектила DM11 током 2011. године.

Овај пројектил опремљен је високоексплозивном бојевом главом са мешавином челичних и делова од тешких метала. Може бити програмиран за детонирање у ваздуху, након ударца или са одложеним дејством погодним за нападе на тимове са навођеним противтенковским ракетама или по искрцаној десантној пешадији на већим даљинама. Овај пројектил погодан је и за пробијање ојачаних бетонских зидова.

Јединствена способност овог пројектила јесте могућност програмирања док се налази у цеви. Код стандардних топова то се обично ради ручно, али у овом случају програмирање се ради преко система за управљање ватром.

Пројектил DM 11 има крилца за стабилизовање путање, максимални домет до 5.000 м и сада се серијски производи за потребе америчког маринског корпуса за тенкове M1A1 Abrams, као и за кориснике тенкова Leopard 2.

Америчка војска одлучила се за пројектил 120 мм (AMP)XM1147 (HEMP-T) који ће заменити четири постојећа пројектила 120 мм. Овај пројектил користиће топ глатке цеви M256 на тенковима M1A1/M1A2 Abrams који представља верзију топа 120 мм L/44 Rheinmetall који по лиценци производи компанија Watervliet Arsenal.

Како само домаћи (амерички) произвођачи могу учествовати у тендеру за набавку пројектила XM1147, компанија Rheinmetall се удружила са компанијом General Dynamics Ordnance and Tactical systems (GDOTS) чији ће понуђени пројектил бити заснован на пројектилу DM11.



Топ L/55 налази се на најновијој верзији тенка Leopard 2A7 +

Компанија Rheinmetall развила је шест генерација пројектила APSFSDS-T. Прву генерацију DM13 следице су DM23, DM33, DM43, DM53 и DM63. Последњих пет пројектила карактерише већа пробојност оклопа, што је резултат односа дужине и дијаметра пенетратора, али и употреба напреднијих материјала.

DM63 спада у најновију генерацију APFSDS-T пројектила и има брзину од 1,650 м/с када је испален из тенкова Leopard 2A4 опремљених топовима L/44 L/55, као и из тенкова Leopard 2A6, односно 2A7. Кључна особина овог пројектила је непромењена балистичка карактеристика током гађања на температурама које варирају од -46 до 71 степена за разлику од претходних пројектила чије су балистичке перформансе опадале на вишим температурама.

Компанија Rheinmetall тренутно ради на новом пројектилу APFSDS-T чији ће дизајн утицати на повећану способност пенетрације оклопа.

Пројектовање, развој и производња тенковских топова и одговарајуће муниције, нарочито пројектила APFSDS, врло је сложен поступак. Међутим, еволуција хомогеног оклопа, а нарочито развој пасивног и експлозивно-реактивног оклопа, изискује развој нове муниције.

Иако развој новог топа од 130 мм и пројектила RH73 траје већ неко време, званична потврда долази непосредно након приказивања новог руског тенка Армата Т14 за који се тврди да поседује оклоп непробојан за пројектиле DM53 DM63, што није случајност.

Драган Вучковић (Dragan Vučković),

e-mail: draganvuckovic@kbcnet.rs,

ORCID iD:  <http://orcid.org/0000-0003-1620-5601>

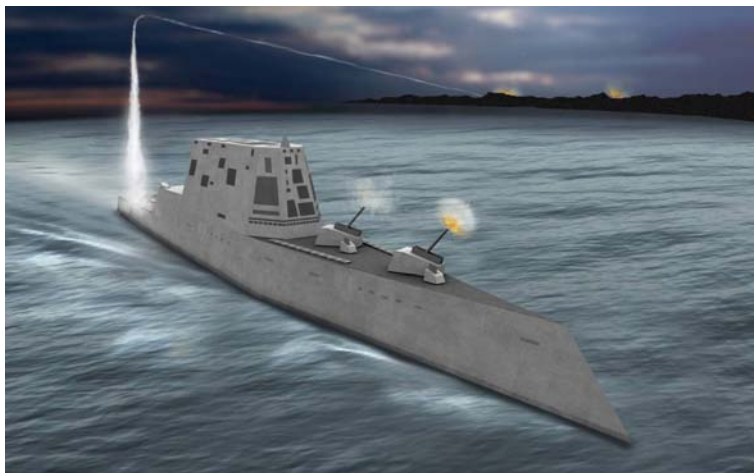
Напредни топовски систем на броду Zumwalt²³

Америчка ратна морнарица полагала је велике наде у класу површински борбених бродова DDG 1000 Zumwalt планирајући набавку чак до 32 брода. Нова технологија подразумевала је аутоматски систем за сузбијање пожара, нови дизајн топа, напредни радар и нови бродски компјутерски систем у новом, радикализованом бродском трупом и новим структуралним дизајном.



DDG 1000 Zumwalt у бродоградилушты General Dynamics Bath Iron Work

²³ Jane's International Defence Review December 2015.



Први брод из класе DDG 1000 Zumwalt почиње са тестирањима током децембра 2015. године

Током времена трошкови и нове процене безбедносне ситуације утицале су на то да се ратна морнарица задовољи са само три брода из ове класе и започне поновну производњу разарача класе DDG 51 Arleigh Burke, иако ће неке иновације класе Zumwalt бити примењене на будуће бродове. Нажалост, једна од најновијих технологија уграђена на Zumwalt класу – напредни топовски систем (Advanced Gun System – AGS) и припадајући потпуно аутоматизован систем пуњења са магацином престаће да се производи и пре него што први брод из ове класе буде примљен у оперативну употребу.

AGS је пројектован за испаљивање врло специфичне муниције, пројектила под називом Long Range Land Attack Projectile (LRLAP). Пројектил заједнички производе компаније BAE Systems и Lockheed Martin.



Long Range Land Attack Projectile (LRLAP)

Компанија BAE Systems пројектовала је пројектил AGS калибра 155 мм. До овог тренутка овај систем је испоручен и инсталиран на прва два брода DDG 1000 и DDG 1001. DDG 1000 је започео са пробним тестирањем током децембра 2015. године када ће бити испробан систем AGS.

Компанија је испоручила укупно шест оваквих система – два по броду, а само толико их је и произведено. Не планира се производња и испорука ових система за морнарице других држава.

AGS 155 мм је у потпуности аутоматизован, тако да нема посаде која би била укључена у поступак пуњења топа. Топ се налази на горњој палуби брода у „радарски невидљивој“ куполи, цев је спуштена у посебно лежиште ради смањења радарског и инфрацрвеног одраза, а поседује интегрисани расхладни систем који омогућава одрживу каденцу паљбе.

Цев топа, осим врха, скоро је у потпуности увучена у фиксирану заштићену куполу. По потреби, двострука врата на врху куполе се отварају, омогућујући подизање, окретање и испаливање из цеви.



AGS спреман за паљбу

Испод палубе AGS има потпуно аутоматизовани електрични систем пуњења са палетизованим магацином. Свака палета садржи осам пројектила LRLAP и осам погонских пуњења.

Магацини су толико велики да се понекад каже да је брод израђен око њих. Они су модуларни, а у случају да брод има задатак бомбардовања циљева на копну, сваки садржи око 300 пројектила LRLAP 155 мм. Сваки пројектил са погонским пуњењем има 223 цм дужине и тежи 102 кг. Пројектили се налазе

на палети, преносе се испод топа и затим се вертикално пуне и испаљују. Након испаливања топ се враћа у вертикалну позицију ради поновног пуњења.

С обзиром на то да је магацин пројектован искључиво за класу DDG 1000, није могуће пребацили га на друге бродове, али је могуће усвојити сличне модификације за примену на другим пловилима.

AGS може испалити свих 300 граната по брзини од 10 пројектила у минути. То је омогућено посебним системом хлађења које пумпа расхладну течност дуж цеви ради одржавања константне температуре.

Сваки покрет топа и све радње магацина регулишу електрични мотори. Оваква аутоматизација поступка омогућила је морнарици да смањи број послужилаца топа, а очекује се да инсталације система AGS трају и до 30 година, што је животни век самог брода. Замена цеви топа предвиђена је једном у шест година.

Као и већина елемената у систему AGS, пројектили навођени системом GPS/INS развијени су искључиво за овај систем. Пројектил LRLAP има домет око 64 наутичке миље (око 100 км) са циркуларном грешком од око 2 м на том домету. Домет је теоретски још већи, али се тада смањује прецизност поготка. Експлозивна маса пројектила једнака је гранати 155 мм (10,8 кг експлозива). Ускоро се очекује испорука првих пројектила, а првобитна планирана производња од неколико десетина хиљада комада за 20 до 30 бродова класе DDG 1000 Zumwalt биће значајно умањена.

Решен је велики проблем који се састојао од преживљавања осетљиве електронике на врху пројектила који се испаљује са убрзањем од неколико хиљада Г (6.000 Г). Пројектил LRLAP добија жељено убрзање путем ракетног погона, што му омогућава већи домет, али и спорије убрзање.

Рад на овом пројектилу започет је још 2005. године, а један од најтежих задатака био је управо одговарајући ракетни мотор, али и цена пројектила која још није коначна и зависиће од уговора за производњу. Иначе, очекује се да ће AGS бити последњи хемијски систем за бомбардовање циљева на копну који ће наследили електромагнетски шински топ. Делимично због тога је и стопирана производња система AGS, јер постоје индикације да би трећи брод из класе DDG 1000 могао послужити као основ за тестирање шинског топа.

Драган Вучковић (Dragan Vučković),

e-mail: draganvuckovic@kbcnet.rs,

ORCID iD:  <http://orcid.org/0000-0003-1620-5601>

Турска по први пут тестира наоружане беспилотне летелице²⁴

Турска је по први пут испалила вођене пројектиле ваздух-земља са беспилотне летелице, што ју је сврстало у ред малог броја земаља које су развиле домаћу наоружану беспилотну летелицу.

Наоружана беспилотна летелица (НБЛ) Bayraktar TB2 испалила је навођене ракете Roketsan Smart Munition (SMM; MAM – Mini Akilli Muhimmat) приликом тестирања изведеног 17. децембра 2015. године.

²⁴ Jane's Defence Weekly 6 January 2016.

Према наводима произвођача Baykar Makina, ракете су испалјене са висине од 16.000 фита (преко 5.000 м) и погодиле су циљ који је био удаљен 8 км. Ракета је испалјена са крила НБЛ Bayraktar TB2 и погодила је централни део мете величине величине 2 пута 3 метра. Наоружана беспилотна летелица је на другом крилу носила реплику бомбе SMM која није испуштана.

Ласерски навођена планирајућа бомба SMM развијена је од противтенковске ракете UMTAS компаније Roketsan и ласерски вођене ракете Cirit. Ради се малој бомби без ракетног погона која комбинује трагач са раке-те Cirit и већину делова са ракете UMTAS без ракетног погона.

Bayraktar TB2 је тактичка НБЛ, лети на средњим висинама и поседује велики радијус дејства. Наоружану беспилотну летелицу поручила је турска копнена војска. Она је базирана на претходној тактичкој БЛ Bayraktar, али је за трећину већа, има распон крила од 12 м и радијус дејства до 150 км (зависна од даталинка). Током неколико пробних летова, TB2 је летела до висине од 27.030 фита (око 9,000 м), а остала је у ваздушном простору 24 часа и 34 минута.

Турска копнена војска поручила је укупно 18 НБЛ Bayraktar TB2

На развој ове летелице знатно је утицала америчка одлука којом је забрањена продаја технологија НБЛ Турској. Ова летелица ће знатно помоћи турским оружаним снагама у обрачуна са Курдистанском радничком партијом. Производња ове НБЛ сврстава Турску у ред пет земаља (Кина, Иран, Израел и САД) које производе своје наоружане БЛ. Мада би било тачније рећи да се ради о шест земаља, јер је јужноафричка компанија Denel већ извршила тестове са наоружаном БЛ Seeker.



НБЛ Bayraktar TB2

Драган Вучковић (Dragan Vučković),
e-mail: draganvuckovic@kbcnet.rs,

ORCID iD:  <http://orcid.org/0000-0003-1620-5601>

Први лет кинеског J-16 EW²⁵

Кинески извори навели су да је варијанта ловца J-16 компаније Shenyang Aircraft Corporation, предвиђеног за електронски рат, извела свој први пробни лет 18. децембра 2015. године.

Слике нове варијанте ловца појавиле су се на неколико кинеских војних сајтова. Примећене су модификације које се налазе на носачима на крајевима крила које личе на ALQ-218 Tactical Jamming Receiver (тактички ометајући ресивер) који се налази на авиону E/A-18G Growler Super Hornet, а намењен је за електронски рат.



Прототип J-16 EW

Чини се да прототипу J-16 EW недостаје авионски топ и систем за инфрацрвено трагање и праћење, што је нејасно, јер би J-16, који је иначе кинеска копија ловца SU-30 Sukhoi, требало да има чак 10 подвесних тачака испод крила и трупа авиона.

Драган Вучковић (Dragan Vučković),
e-mail: draganvuckovic@kbcnet.rs,

ORCID iD:  <http://orcid.org/0000-0003-1620-5601>

Нови системи детекције кроз зидове²⁶

Руска компанија Geotech развила је нови радарски систем за откривање органских мета кроз зидове.

Уређаји RO-400 и RO-900 могу откривати непријатеља који се крије иза зидова од армираног бетона дебљине до 0,6 м уз анализу покрета и дисања. Радари могу радити и у режиму продирања радарског снопа у дубину земље и откривати закопано оружје и експлозивне направе.

²⁵ Jane's Defence Weekly 6 January 2016.

²⁶ Jane's International Defence Review January 2016.

Радарски систем RO-900 може пратити и лоцирати мете преко анализе покрета на даљинама до 11 м кроз зидове дебљине до 0,4 м. У режиму откривања мета помоћу анализе издисаја, систем може откривати мете на даљинама до 5 м кроз препреке дебљине 0,3 м. Уређај је димензија 24,5X10,4X7,8 цм и режим рада до четири сата. Радар ради на фреквенцијама од 900 мегахерца.



Радарски систем за откривање органских мета кроз зидове RO-900

Други већи уређај RO-400 2-D има већи радијус откривања мета који је сада повећан на 21 м и може бити монтиран на беспилотно копнено возило којим се управља таблетом и на којем се појављује дводимензионална слика мете у реалном времену. Уређај ради на фреквенцији од 400 мегахерца, а јединица масе 4,5 кг има димензије 96X29X15,5 цм и може радити до четири сата.

Систем може откривати складишта оружја и експлозивне направе укључујући и уређаје који нису састављени од метала, а налазе се на дубини до 5 м.

Специјална верзија уређаја већ је у употреби у руској федералној безбедносној служби.

Главни конкурент овог система је израелски преносни радар серије Xaver који ипак нема могућност откривања „дисања“ мете.

Уређај RO-400 већ је победио израелског конкурента у једном индијском тендеру, а компанија је већ испоручила пет система Јужној Кореји, четири Казахстану и Пакистану и још по пет уређаја RO-900 Вијетнаму и три Кини.

Драган Вучковић (Dragan Vučković),
e-mail: draganvuckovic@kbcnet.rs,

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0003-1620-5601>

Рефлексни нишани као елемент тактичке специјалистичке опреме

Захваљујући развоју технологије модерног доба информације постају лако доступне. Знања и искуства се брже стичу и деле, што само појачава већ актуелни процес глобализације. Управо ови разлози омогућили су сада већ изражену праксу преузимања или дељења различитих технолошких достигнућа, патената, теоријских аксиома између субјеката производње, односно њиховог прилагођавања у различите сфере друштвених делатности.

Још почетком двадесетог века настала је идеја о изради нишанских уређаја који би стрелцима олакшали традиционално нишањење²⁷. Сматра се да су страствени ловци својим искуствима из природе знатно допринели уобличавању ове идеје, а у литератури се ипак издваја име ирског проналазача Хауарда Груба (енгл. Howard Grubb). Резултате својих истраживања објединио је у патенту, под регистарским бројем 12108, током 1900. године, да би наредне године у једном респектабилном даблинском часопису објавио ауторски текст у којем је изнео размишљања о могућим употребама његовог патента. Чланак је наишао на позитивне коментаре, а привукао је посебну пажњу тадашњих конструктора при авио-индустрији. Прва позната употреба рефлексних нишана везује се за немачке борбене авионе током Првог светског рата. Позитивна искуства утицала су на знатно ширу употребу ових нишанских уређаја током Другог светског рата, посебно након појаве млазних авиона.

Уопштено, рефлексни нишани представљају врсту оптичких уређаја који омогућавају стрелцу да погледом кроз конкавно рефлектујуће сочиво, уметнуто у тело уређаја, остварују нишањење мете преко кончанице пројектоване на стакленом сочиву. По правилу, у питању су неувеличавајући нишански уређаји²⁸ који су ослобођени жижне даљине (видљивост кончанице остаје иста без обзира на удаљеност око стрелца од нишана) и паралаксе²⁹. Самим тим, ови нишани примарно су конструисани за употребу у условима блиске борбе. Монтирају се, по правилу, на горњу страну оружја помоћу различитих носача или монтирањем на стандардне „Picatinny” шине у случају модернијих модела пешадијског наоружања. Упуцавање се, по правилу, врши преко система кликова.

У литератури се могу издвојити различити ставови о томе које врсте модерних нишанских уређаја се сматрају рефлексним. Изгледа да највише заговорника има став да се у рефлексне нишане убрајају такозвани „ред дот” нишани, као и холографски нишани.

Усавршавањем оптичких, оптоелектронских и ласерских уређаја у другој половини двадесетог века отворила се могућност израде квалитетних рефлексних нишана намењених за монтирање на различите врсте пешадијског наоружања са знатно увећаним радним веком и постојаном, преци-

²⁷ Нишањење које се остварује поклапањем задњег и предњег механичког нишана и остваривањем тзв. нишанске линије.

²⁸ Стога се могу „комбиновати” са увеличавајућим уређајима (нпр. 2X или 3X) који се постављају испред рефлексних.

²⁹ Паралакса представља привидну промену положаја објекта у односу на позадину услед разлике положаја два посматрача или услед брзе кретања посматрача.

зном кончаницом. Први нишани ове намене користили су за рад или мање батерије или се слика кончанице остваривала при амбијенталном осветљењу (нпр. сунчева светлост). Карактеристика модерних рефлексних нишана јесте да стрелцу нуде могућност подешавања интензитета осветљености кончанице³⁰, што омогућава тактичку употребу и у условима смањене видљивости, а неки модели могу се користити и заједно са уређајима за ноћно осматрање (на пример, модел „ЕОТех 558”).

Шведски пионир

Године 1975. респектабилна шведска компанија „Aimpoint AB” промовисала је први рефлексни нишан намењен монтирању на пушку. Нишански уређај имао је ознаку „Aimpoint Electronic”, а конструкција је решена по узору на дизајн Џона Арнија Игмунда Екстранда (енгл. John Arne Ingemund Ekstrand). Тело нишана било је затвореног, тубуларног облика, а радни век батерије износио је између 1500 и 3000 сати. Каснијих деценија пројекти (међу најпознатијима су серије „ред дот” нишана „CompM3”, затим „CompM4”, као и компактнији модели „Micro T-1” и „Micro T-2”) ове компаније остварују одличне резултате, па је данас „Aimpoint” један од најпознатијих произвођача ове врсте нишана, а неколико независних студија је потврдило да су „ред дот”³¹ нишани овог произвођача данас највише заступљени у службеној употреби.

Нишани „ред дот”

Нишани „ред дот” представљају врсту рефлексних нишана код којих је кончаница представљена црвеном тачком која се пројектује помоћу светлеће диоде. Захваљујући конкавном сферичном стаклу постиже се ефекат фиксираности црвене тачке, чиме је могуће остварити нишањење једноставним усмеравањем у мету³². Купцима се, најчешће, нуде тубуларни (цевастии) и отворени модели.

Тубуларни модели су сличног облика као и телескопски (увеличавајући) нишани, док се отворени модели састоје од равне базе и уоквиреног сочива. Основна предност тубуларних модела је њихова израженија робустност, посебно када су у питању последице механичких удараца. Захваљујући конструкцији, на ове моделе рефлексних нишана могу се монтирати заштитни поклопци, односно мрежице³³ које уједно спречавају и одсјај оптике на сунчевој светлости. Са друге стране, облик и конструкција ових модела узрокују и већу масу нишанског уређаја, што се донекле умањује употребом алуминијумских легура у изради база и тела ових модела. Предност отворених модела је мања маса, али су зато знатно осетљивији на различите

³⁰ Примера ради, модел холографског нишана типа „ЕОТех 518” нуди 20 подешавања за рад при дневном осветљењу.

³¹ Назив долази од енглеске синтагме „red dot”, што значи „црвена тачка” и означава црвену тачку кончанице ове врсте рефлексних нишана. Код новијих модела ове врсте рефлексних нишана диоде уместо црвене пројектују тачку јаркозелене боје, па се среће и назив „green dot sight”, дакле нишани са зеленом тачком кончанице.

³² Тачка кончанице се, наравно, појављује на мети – преклапа је.

³³ Конструкција мрежица дозвољава нишањење.

спољашње факторе (нпр. климатске). Величина нишанске тачке одређује се бројем лучних минута (енгл. Minute of Angle-MOA), па тако, на пример, тачка величине 2 MOA захвата круг пречника 54 милиметра на мети удаљеној 100 метара од стрелца.



Визуелно поређење: Модели „Aimpoint CompM3” и „Aimpoint CompM4” (десно).
Фото: Милош Јевтић

Једна од основних предности ове врсте рефлексних нишана јесте изузетно дуг радни век, јер модерне диоде за пројектовање кончанице користе врло мало капацитета батерије³⁴. Главни проблем, заједнички свим врстама рефлексних нишана, финансијске је природе. Висока цена ових нишанских уређаја³⁵ по правилу утиче на околност да ови нишани данас најчешће чине саставни део специјалистичке опреме полицијских и војних јединица за специјалне намене, првенствено услед релативно малог оперативног кадра, па је опремање у овим случајевима рационалније са економског аспекта.

Међу произвођачима „ред дот” нишана данас се на тржишту истичу компаније „Aimpoint”, „Trijicon”, „Bushnell”, „Meopta ZD” и други. Представник Републике Србије је фирма „Телеоптик–Жироскопи” из Београда, чији модели су у службеној употреби у Жандармерији Републике Србије. Такође, елитне јединице српске полиције и Војске користе и моделе „Aimpoint CompM3”³⁶, као и „Aimpoint CompM4”³⁷.

³⁴ На пример, према тврдњама произвођача, радни век „ред дот” нишана „Aimpoint CompM4” износи око 8 година!

³⁵ Примера ради, холографски „EOTech 558” кошта 629 америчких долара.

³⁶ На пример, Специјална антитерористичка јединица – САЈ Министарства унутрашњих послова.

Холографски нишани

Представљају врсту рефлексних нишана који функционишу по принципу трансмисионих холограма код којих се постојана кончаница остварује помоћу напредних диодних ласера, што је уједно и основна разлика у поређењу са „ред дот” нишанима. Такође, кончаница холографских нишана је нешто другачија, па тако подразумева круг у чијем центру се налази нишанска тачка. Значајна карактеристика холографских нишана је могућност пројектовања кончанице у било ком делу стакла, чак и када је оно оштећено (на пример, када је услед механичког удarca напрсло). На тржишту предњаче модели са телима четвртастог облика која се израђују од алуминијумских легура или квалитетних композитних материјала, а ради умањивања масе нишана. Као и нишани „ред дот” и холографски нишани се одликују поузданим радом у екстремним условима, али је зато радни век осетно краћи. Додатно, просечна цена холографских нишана је много виша у поређењу са „ред дот” моделима, па тако, примера ради, за холографски „EOTech 512 Battery Cap” треба издвојити чак 729 америчких долара.

Међу светским произвођачима посебно се истиче компанија „EOTech” чији модели „EOTech XPS2-0” су у употреби у елитном Батаљону војне полиције специјалне намене „Кобре” Војске Србије.

Употреба

Захваљујући карактеристикама конструкција рефлексних нишана умногоме је измењен и унапређен начин нишањења. Иако није захвално говорити о утицају нишанских уређаја на прецизност поготка, јер многи заступају став да је ту пресудан људски фактор, несумњиво је да рефлексни нишани унапређују нишањење тако што омогућавају стрелцу да га остварује брже и са оба отворена ока.



*Модел холографског нишана „EOTech XPS2-0” као део опреме припадника „Кобри”.
Фото: Милош Јевтић*

³⁷ На пример, Специјална бригада Војске Србије, као и Батаљон војне полиције специјалне намене „Кобре”.

То се веома позитивно одражава и на стрелчеву прегледност непомредне околине, што је у условима блиске борбе изузетно важан критеријум. Доказана поузданост ових уређаја условила је да се данас често монтирају и на полуаутоматске пиштоље, оружја за личну заштиту, аутомате, јуришне пушке, али и на лаке митраљезе.

Када су у питању тактичко-техничке карактеристике уређаја, до изражаја долази и изузетна робустност ових уређаја и поред тога што се означавају као оптоелектронски. Наиме, многи произвођачи промовишу заиста одличне карактеристике, па се тако истиче, примера ради, да модели „Aim-point CompM4” могу функционисати на температурама од -45 до +71 степе-ни Целзијуса, односно на дубинама до 45 метара испод воде, што је импо-зантно, имајући у виду да је у питању уређај масе 268 грама (без додатне монтаже али са батеријом), укупне дужине 135 милиметара, ширине 72 и укупне висине 72 милиметра.

*Милош Јевтић (Miloš Jevtić), уредник сајта specijalne-jedinice.com,
e-mail: info@specijalne-jedinice.com,
ORCID iD:  <http://orcid.org/0000-0002-1305-7618>*

ПОЗИВ И УПУТСТВО АУТОРИМА ПРИГЛАШЕНИЕ И ИНСТРУКЦИИ ДЛЯ АВТОРОВ РАБОТ CALL FOR PAPERS AND INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

ПОЗИВ И УПУТСТВО АУТОРИМА О НАЧИНУ ПРИПРЕМЕ ЧЛАНКА

Упутство ауторима о начину припреме чланка за објављивање у *Војнотехничком гласнику* урађено је на основу Акта о уређивању научних часописа, Министарства за науку и технолошки развој Републике Србије, евиденциони број 110-00-17/2009-01, од 09. 07. 2009. године. Примена овог Акта првенствено служи унапређењу квалитета домаћих часописа и њиховог потпунијег укључивања у међународни систем размене научних информација. Засновано је на међународним стандардима ISO 4, ISO 8, ISO 18, ISO 215, ISO 214, ISO 18, ISO 690, ISO 690-2, ISO 999 и ISO 5122, односно одговарајућим домаћим стандардима.

Војнотехнички гласник / Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (втг.мо.упр.срб, www.vtg.mod.gov.rs, ISSN 0042-8469 – штампано издање, е-ISSN 2217-4753 – online, UDC 623+355/359) јесте мултидисциплинарни научни часопис Министарства одбране Републике Србије, који објављује научне и стручне чланке, као и техничке информације о савременим системима наоружања и савременим војним технологијама. Часопис прати јединствену интервидовску техничку подршку Војске на принципу логистичке системске подршке, области основних, примењених и развојних истраживања, као и производњу и употребу средстава наоружања и војне опреме, и остала теоријска и практична достигнућа која доприносе усавршавању припадника Министарства одбране и Војске Србије.

Министарство просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије, сагласно одлуци из члана 27. став 1. тачка 4), а по прибављеном мишљењу из члана 25. став 1. тачка 5) Закона о научноистраживачкој делатности („Службени гласник РС“, бр. 110/05, 50/06-испр. и 18/10), утврдило је категоризацију Војнотехничког гласника, за 2013. годину:

за област технолошког развоја:

– **на листи часописа за материјале и хемијске технологије:**

категиорија водећи научни часопис националног значаја (**M51**),

– **на листи часописа за електронику, телекомуникације и информационе технологије:**

категиорија научни часопис националног значаја (**M52**),

– **на листи часописа за машинство:**

категиорија научни часопис националног значаја (**M52**),

за област основна истраживања:

– **на листи часописа за математику, рачунарске науке и механику:**

категиорија научни часопис националног значаја (**M52**).

Усвојене листе домаћих часописа за 2013. годину могу се видети на сајту Војнотехничког гласника, страница Категоризација часописа.

Детаљније информације могу се пронаћи и на сајту Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

Подаци о категоризацији могу се пратити и на сајту КОБСОН-а (Конзорцијум библиотека Србије за обједињену набавку).

Категоризација часописа извршена је према Правилнику о поступку и начину вредновања и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача, који је прописао Национални савет за научни и технолошки развој (Службени гласник РС, број 38/2008).

У складу са овим правилником и табелом о врсти и квантификацији индивидуалних научноистраживачких резултата (у саставу Правилника), објављени рад у Војнотехничком гласнику вреднује се са 2 бода (категиорија M51) и 1,5 бод (категиорија M52).

Часопис се прати у контексту Српског цитатног индекса – СЦИндекс (база података домаћих научних часописа) и Руског индекса научног цитирања (РИНЦ). Подвргнут је сталном вредновању (мониторингу) у зависности од утицајности (импакта) у самим базама и, посредно, у међународним (Thompson Reuters) цитатним индексима. Детаљи о индексирању могу се видети на сајту Војнотехничког гласника, страница Индексирање часописа.

Војнотехнички гласник омогућава и примењује Creative Commons (CC BY) одредбе о ауторским правима. Детаљи о ауторским правима могу се видети на сајту часописа, страница **Ауторска права**.

Радови се предају путем онлајн система за електронско уређивање ASEE-STANT, који је развио Центар за евалуацију у образовању и науци (ЦЕОН).

Приступ и регистрација за сервис врше се на сајту www.vtg.mod.gov.rs, преко странице ASEESTANT или СЦИНДЕКС, односно директно на линку aseestant.ceon.rs/index.php/vtg.

Детаљно упутство о регистрацији и пријави за сервис налази се на сајту www.vtg.mod.gov.rs, страница Упутство за е-Ур: Електронско уређивање – ASEESTANT.

Потребно је да се сви аутори који подносе рукопис за објављивање у Војнотехничком гласнику региструју у регистар ORCID (Open Researcher and Contributor ID), према упутству на страници сајта Регистрација за добијање ORCID идентификационе шифре.

Војнотехнички гласник објављује чланке на српском, енглеском, руском, немачком или француском језику (arial, српска ћирилица или српска латиница, величина слова 11 pt, проред Single).

Поступак припреме, писања и уређивања чланка треба да буде у сагласности са **Изјавом о етичком поступању** (<http://www.vtg.mod.gov.rs/izjava-o-etickom-postupanju.html>).

Чланак треба да садржи сажетак са кључним речима, увод, разраду, закључак, литературу и резиме са кључним речима на енглеском језику (без нумерације наслова и поднаслова). Обим чланка треба да буде око једног ауторског табака (16 страница формата A4 са проредом Single), а највише 24 странице.

Чланак треба да буде написан на обрасцу за писање чланка, који се у електронској форми може преузети са сајта на страници Образац за писање чланка.

Наслов

Наслов треба да одражава тему чланка. У интересу је часописа и аутора да се користе речи прикладне за индексирање и претраживање. Ако таквих речи нема у наслову, пожељно је да се придода и поднаслов. Наслов треба да буде преведен и на енглески језик.

Ови наслови исписују се испред сажетка на одговарајућем језику.

Текући наслов

Текући наслов се исписује са стране сваке странице чланка ради лакше идентификације, посебно копија чланака у електронском облику. Садржи презиме и иницијал имена аутора (ако аутора има више, преостали се означавају са „et al.“ или „и др.“), наслове рада и часописа и колацију (година, волумен, свеска, почетна и завршна страница). Наслови часописа и чланка могу се дати у скраћеном облику.

Име аутора

Наводи се пуно име и презиме (свих) аутора. Веома је пожељно да се наведу и средња слова аутора. Имена и презимена домаћих аутора увек се исписују у оригиналном облику (са српским дијакритичким знаковима), независно од језика на којем је написан рад.

Назив установе аутора (афилијација)

Наводи се пун (званични) назив и седиште установе у којој је аутор запослен, а евентуално и назив установе у којој је аутор обавио истраживање. У сложеним организацијама наводи се укупна хијерархија (нпр. Универзитет одбране у Београду, Војна академија, Катедра природно-математичких наука). Бар једна организација у хијерар-

хији мора бити правно лице. Ако аутора има више, а неки потичу из исте установе, мора се, посебним ознакама или на други начин, назначити из које од наведених установе потиче сваки од наведених аутора. Афилијација се исписује непосредно након имена аутора. Функција и звање аутора се не наводе.

Контакт подаци

Адреса или е-адреса свих аутора даје се на првој страници чланка.

Категорија (тип) чланка

Категоризација чланака обавеза је уредништва и од посебне је важности. Категорију чланка могу предлагати рецензенти и чланови уредништва, односно уредници рубрика, али одговорност за категоризацију сноси искључиво главни уредник.

Чланци у часописима се разврставају у следеће категорије:

Научни чланци:

1. оригиналан научни рад (рад у којем се износе претходно необјављивани резултати сопствених истраживања научним методом);
2. прегледни рад (рад који садржи оригиналан, детаљан и критички приказ истраживачког проблема или подручја у којем је аутор остварио одређени допринос, видљив на основу аутоцитата);
3. кратко или претходно саопштење (оригинални научни рад пуног формата, али мањег обима или прелиминарног карактера);
4. научна критика, односно полемика (расправа на одређену научну тему, заснована искључиво на научној аргументацији) и осврти.

Изузетно, у неким областима, научни рад у часопису може имати облик монографске студије, као и критичког издања научне грађе (историјско-архивске, лексикографске, библиографске, прегледа података и сл.) – дотад непознате или недовољно приступачне за научна истраживања.

Радови класификовани као научни морају имати бар две позитивне рецензије.

Ако се у часопису објављују и прилози ваннаучног карактера, научни чланци треба да буду груписани и јасно издвојени у првом делу свеске.

Стручни чланци:

1. стручни рад (прилог у којем се нуде искуства корисна за унапређење професионалне праксе, али која нису нужно заснована на научном методу);
2. информативни прилог (уводник, коментар и сл.);
3. приказ (књиге, рачунарског програма, случаја, научног догађаја, и сл.).

Језик рада

Језик рада може бити српски, енглески или други језик који се користи у међународној комуникацији у одређеној научној области (руски, немачки или француски).

Текст мора бити језички и стилски дотеран, систематизован, без скраћеница (осим стандардних). Све физичке величине морају бити изражене у Међународном систему мерних јединица – SI. Редослед образаца (формула) означава се редним бројевима, са десне стране у округлим заградама.

Сажетак (апстракт) и резиме

Сажетак (апстракт) јесте кратак информативан приказ садржаја чланка који читаоцу омогућава да брзо и тачно оцени његову релевантност. У интересу је уредништва и аутора да сажетак садржи термине који се често користе за индексирање и претрагу чланака. Саставни делови сажетка су циљ истраживања, методи, резултати и закључак. Сажетак треба да има од 100 до 250 речи и треба да се налази између заглавља (наслов, имена аутора и др.) и кључних речи, након којих следи текст чланка. Ако је рад написан на српском (руском, немачком или француском) језику пожељно је да се, поред сажетка на српском (руском, немачком или француском), даје и сажетак у проширеном облику на енглеском језику – као тзв. резиме (summary). Овакав резиме треба да буде на крају чланка,

након одељка Литература. Важно је да резиме буде у структурираном облику, а његова дужина може бити до 1/10 дужине чланка (опширнији је од сажетка са почетка чланка). Почетак овог резимеа може бити преведени сажетак (са почетка чланка), а затим треба да следе преведени главни наслови, поднаслови и основе закључка чланка (литература се не преводи). Потребно је да се у структурираном резимеу преведе и део текста испод наслова и подналова, водећи рачуна да он буде пропорционалан њиховој величини, а да одражава суштину. Након резимеа на енглеском језику (проширеног сажетка) додаје се његов превод на српском, да би редакција извршила проверу и лектуру.

Кључне речи

Кључне речи су термини или фразе које адекватно представљају садржај чланка за потребе индексирања и претраживања. Треба их додељивати ослањајући се на неки међународни извор (попис, речник или тезаурус) који је најшире прихваћен или унутар дате научне области. За нпр. науку уопште, то је листа кључних речи Web of Science. Број кључних речи не може бити већи од 10, а у интересу је уредништва и аутора да учесталост њихове употребе буде што већа. Кључне речи дају се на језику на којем је написан чланак (сажетак) и на енглеском језику. У чланку се пишу непосредно након сажетка, односно након резимеа.

Систем ASEESTANT у ту сврху користи специјалну алатку KWASS: аутоматско екстраховање кључних речи из дисциплинарних тезауруса/речника по избору и рутине за њихов одабир, тј. прихватање односно одбацивање од стране аутора и/или уредника.

Датум прихватања чланка

Датум када је уредништво примило чланак, датум када је уредништво коначно прихватило чланак за објављивање, као и датуми када су у међувремену достављене евентуалне исправке рукописа наводе се хронолошким редоследом, на сталном месту, по правилу на крају чланка.

Захвалница

Назив и број пројекта, односно назив програма у оквиру којег је чланак настао, као и назив институције која је финансирала пројекат или програм, наводи се у посебној напомени на сталном месту, по правилу при дну прве стране чланка.

Претходне верзије рада

Ако је чланак у претходној верзији био изложен на скупу у виду усменог саопштења (под истим или сличним насловом), податак о томе треба да буде наведен у посебној напомени, по правилу при дну прве стране чланка. Рад који је већ објављен у неком часопису не може се објавити у Војнотехничком гласнику (прештампати), ни под сличним насловом и измењеном облику.

Табеларни и графички прикази

Пожељно је да наслови свих приказа, а по могућству и текстуални садржај, буду дати двојезично, на језику рада и на енглеском језику.

Табеле се пишу на исти начин као и текст, а означавају се редним бројевима са горње стране. Фотографије и цртежи треба да буду јасни, прегледни и погодни за репродукцију. Цртеже треба радити у програму word или corel. Фотографије и цртеже треба поставити на жељено место у тексту.

Навођење (цитирање) у тексту

Начин позивања на изворе у оквиру чланка мора бити једнообразан.

Војнотехнички гласник за референцирање (цитирање и навођење литературе) примењује Харвардски систем референци, односно Харвардски приручник за стил (Harvard Referencing System, Harvard Style Manual). У самом тексту, у обичним заградама, на месту на којем се врши позивање, односно цитирање литературе набројане на крају чланка, обавезно у обичној загради написати презиме цитираног аутора, годину издања публикације из које цитирате и, евентуално, број страница. Нпр. (Petrović, 2012, pp.10–12).

Детално упутство о начину цитирања, са примерима, дато је на страници сајта Упутство за Харвардски приручник за стил. Потребно је да се позивање на литературу у тексту уради у складу са поменутиим упутством.

Систем ASEESTANT у сврху контроле навођења (цитирања) у тексту користи специјалну алатку CiteMatcher: откривање изостављених цитата у тексту рада и у попису референци.

Напомене (фусноте)

Напомене се дају при дну стране на којој се налази текст на који се односе. Могу садржати мање важне детаље, допунска објашњења, назнаке о коришћеним изворима (на пример, научној грађи, приручницима), али не могу бити замена за цитирану литературу.

Листа референци (литература)

Цитирана литература обухвата, по правилу, библиографске изворе (чланке, монографије и сл.) и даје се искључиво у засебном одељку чланка, у виду листе референци. Референце се не преводје на језик рада и набрајају се у посебном одељку на крају чланка.

Војнотехнички гласник, као начин исписа литературе, примењује Харвардски систем референци, односно Харвардски приручник за стил (Harvard Referencing System, Harvard Style Manual).

Литература се обавезно пише на латиничном писму и набраја по абecedном редоследу, наводећи најпре презимена аутора, без нумерације.

Детално упутство о начину пописа референци, са примерима, дато је на страници сајта Упутство за Харвардски приручник за стил. Потребно је да се попис литературе на крају чланка уради у складу са поменутиим упутством.

Нестандардно, непотпуно или недоследно навођење литературе у системима вредновања часописа сматра се довољним разлогом за оспоравање научног статуса часописа.

Систем ASEESTANT у сврху контроле правилног исписа листе референци користи специјалну алатку RefFormatter: контрола обликовања референци у складу са Харвардским приручником за стил.

Пропратно писмо

Поред чланка доставља се пропратно писмо у којем треба истаћи о којој врсти чланка се ради, који су графички прилози (фотографије и цртежи) оригинални, а који позајмљени.

У пропратном писму наводе се и подаци аутора: име, средње слово, презиме, чин, звање, е-маил, адреса послодавца (ВП), кућна адреса, телефон на радном месту и кућни (мобилни) телефон, рачун и назив банке, СО места становања, број личне карте и ЈМБ грађана.

Ако је више аутора чланка, у пропратном писму се наводи појединачни процентуални удео ради обрачуна хонорара.

Сви радови подлежу стручној рецензији, а објављени радови и стручне рецензије хоноришу се према важећим прописима.

Списак рецензената Војнотехничког гласника може се видети на страници сајта **Списак рецензената**. Процес рецензирања објашњен је на страници сајта **Рецензентски поступак**.

Адреса редакције:
Војнотехнички гласник,
Браће Југовића 19, Дом Војске Србије,
11000 Београд.
E-mail: vojnotehnicki.glasnik@mod.gov.rs.

Уредник
мр *Небојша* Гаћеша, дипл. инж.
nebojsa.gacesa@mod.gov.rs
 <http://orcid.org/0000-0003-3217-6513>
тел.: 011/3349-497, 064/8080-118

ПРИГЛАШЕНИЕ И ИНСТРУКЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ О ПОРЯДКЕ ПОДГОТОВКИ СТАТЬИ

Инструкция для авторов о порядке подготовки статьи к опубликованию в журнале «Военно-технический вестник» разработана в соответствии с Актом о редактировании научных журналов Министерства науки и технологического развития Республики Сербия, № 110-00-17/2009-01 от 09.07.2009 г. Применением этого Акта, в первую очередь, обеспечивается совершенствование качества отечественных журналов и их более полного включения в международную систему обмена научной информацией. Инструкция соответствует международным стандартам ISO 4, ISO 8, ISO 18, ISO 215, ISO 214, ISO 18, ISO 690, ISO 690-2, ISO 999, ISO 5122 и соответствующим отечественным стандартам.

Военно-технический вестник (Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier), втг.мо.упр.срб, www.vtg.mod.gov.rs/index-ru.html, ISSN 0042-8469 – печатное издание, e-ISSN 2217-4753 – online, UDK 623+355/359, является мультидисциплинарным научным журналом Министерства обороны Республики Сербия, публикующий научные статьи и статьи специалистов, в том числе технические информации относительно современных систем вооружения и современных военных технологиях. Журнал отслеживает за единственной интервидовой технической поддержкой вооруженных сил на принципах логистической поддержки, в области основных применяемых научных исследований, а также в области производства вооружений и военного оборудования и остальных теоретических и практических достижений, содействующих повышению квалификаций персонала Министерства Обороны и Вооруженных сил Республики Сербия.

Министерство образования, науки и технологического развития Республики Сербия, согласно решению по ст. 27 абзац 1, пункт 4 и по полученному толкованию ст. 25 абзац 1 пункт 5 Закона о научно-исследовательской деятельности („Службени гласник РС”, № 110/05, утвердило категоризацию Военно-технического вестника за 2013 год:

Категории в области технологического развития:

– **Область материалов и химической технологии:**

ведущий научный журнал национального значения (**M51**),

– **Область электроники, телекоммуникаций и информационных технологий:** научный журнал национального значения (**M52**),

– **Область механики:**

научный журнал национального значения (**M52**).

Категории в области основных исследований:

– **Область математика, компьютерные науки, технические науки:**

научный журнал национального значения (**M52**).

Информацию относительно категоризации за 2013 год можно посмотреть на странице сайта Военно-технического вестника Категоризация вестника.

Более подробную информацию можно прочитать на сайте Министерства образования, науки и технологического развития Республики Сербия.

Информацию о категоризации можно посмотреть и на сайте КОБСОН-а (Консорциум библиотек Республики Сербия по вопросам объединения закупок).

Категоризация вестника проведена согласно Положению о порядке и способе категоризации научно-исследовательских результатов, утвержденному Национальным комитетом по науке и технологиям (Службени гласник РС, № 38/2008).

В соответствии с вышеуказанным Положением и табличкой с показателями классификации и категоризации индивидуальных научно-исследовательских результатов (являющейся неотъемлемой частью Положения), работа, опубликованная в Военно-техническом вестнике, оценивается следующим способом: 2 балла (категория M51) и 1,5 баллов (категория M52).

Журнал соответствует стандартам Сербского цитатного индекса – SCindeks (база данных отечественных научных журналов), а также Российского индекса научного цитирования (РИНЦ). Журнал постоянно оценивается (мониторинг) в зависимости от численного показателя важности научного журнала в самих базах, в т.ч. опосредованно в международных цитатных индексах (Thompson Reuters).

С информацией об индексировании можно ознакомиться на странице сайта журнала «Индексирование вестника».

«Военно-технический вестник» обеспечивает читателям возможность открытого доступа, в соответствии с положениями об авторских правах, утвержденными Creative Commons (CC BY). С инструкцией об авторских правах можно ознакомиться на странице **Авторские права**, перейдя по ссылке <http://www.vtg.mod.gov.rs/index-ru.html>.

Работы представляются путем online системой e-Ур: Электронное издательство ASEESTANT, запущенное Центром поддерживающим развитие образования и науки (ЦЕОН).

Права доступа и регистрация в системе оформляются по адресу <http://www.vtg.mod.gov.rs/index-ru.html>, через страницу «ASEESTANT» или «СЦИНДЕКС» (aseestant.ceon.rs/index.php/vtg).

С инструкцией по регистрации и праву доступа можно ознакомиться по адресу <http://www.vtg.mod.gov.rs/index-ru.html>, на странице «Инструкция по e-Ур: Электронное издательство ASEESTANT».

Все авторы, предоставляющие свои рукописи на публикацию в редакцию журнала «Военно-технический вестник» должны пройти регистрацию в реестре ORCID (Open Researcher and Contributor ID), в соответствии с инструкцией на странице сайта Регистрация в реестре ORCID для присвоения идентификационного кода.

Военно-технический вестник выпускает статьи на сербском, русском, английском, немецком или французском языках (Arial, шрифт 11 pt, пробел Single).

Процесс подготовки, написания и редактирования статьи должен осуществляться в соответствии с принципами **Этического кодекса** (<http://www.vtg.mod.gov.rs/etichyeskiy-kodyeks.html>).

Статья должна содержать сюжет с ключевыми словами, введение, разработку, выводы, список использованной литературы и резюме с ключевыми словами на английском языке (без нумерации заголовков и подзаголовков). Объем статьи не должен превышать один авторский лист (16 страниц формата A4 с пробелом Single).

Статья должна быть написана на образце написания статьи, который можно скачать на странице сайта «Правила и образец составления статьи».

Заголовок

Заголовок должен отражать тему статьи. Интересы журнала и автора состоят в использовании слов, удобных для индексации и поиска. Если такие слова не содержатся в заголовке, то желательно добавить и подзаголовок. Заголовок должен быть переведен на английский язык. Эти заголовки пишутся перед сюжетами на соответствующем языке.

Текущий заголовок

Текущий заголовок пишется в титуле каждой страницы статьи с целью упрощения идентификации, в первой очереди копий статьей в электронном виде. Содержит в себе фамилию и инициал имени автора (в случае если авторов несколько, остальные обозначаются с «et al.» или «и др.»), заголовки работы и журнала (год, объем, тетрадь, начальная и заключительная страница). Заголовки журнала и статьи могут приводиться в сокращенном виде.

ФИО автора

Приводятся полная фамилия и полное имя (всех) авторов. Очень желательно, чтобы были приведены и средние буквы авторов. Фамилия и имя отечественных авторов всегда пишутся в оригинальном виде (с сербскими диакритическими знаками), независимо от языка, на котором работа написана.

Наименование учреждения автора (аффилиация)

Приводится полное (официальное) наименование и местонахождение учреждения, в котором работает автор, а также наименование учреждения, в котором автор провел исследование. В случае сложных организаций приводится общая иерархия (напр. Университет обороны в г. Белграде, Военная академия, Кафедра военных электронных систем). По крайней мере, одна из этих организаций в иерархии должна иметь статус юридического лица. В случае если авторов несколько, и если некоторые

работают в одном учреждении, нужно отдельными обозначениями или каким-нибудь другим способом указать в каком из приведенных учреждений работает каждый из - приведенных авторов. Аффiliation пишется непосредственно после ФИО автора. Должность и квалификация по образованию не указываются.

Контактные данные

Почтовый адрес и/или электронный адрес авторов указываются на первой страницы статьи.

Категория (тип) статьи

Категоризация статей является обязанностью редакции и имеет особое значение. Категорию статьи могут предлагать рецензенты и члены редакции, т.е. редакторы рубрик, но ответственность за категоризацию несет исключительно главный редактор. Статьи в журналах распределяются по следующим категориям:

Научные статьи:

1. оригинальная научная работа (работа, в которой приводятся раньше неопубликованные результаты собственных исследований научным методом);
2. наглядная работа (работа, содержащая оригинальный, детальный и критический обзор исследовательской проблемы или области, в который автор внес определенный вклад, видимый на основе автоцитат);
3. краткая или предварительная информация (оригинальная научная работа полного формата, но меньшего объема или имеющая предварительный характер);
4. научная критика, т.е. полемика (дискуссия на определенную научную тему, обоснованная исключительно на научной аргументации) и беглые обзоры.

Однако, в некоторых областях научная работа в журнале может иметь форму монографической студии, а также критического издания научного материала (историко-архивного, лексикографического, библиографического, обзора данных и т.п.) – до тех пор неизвестного или недостаточно доступного для научных исследований. Работы, классифицированные в качестве научных, должны иметь, по меньшей мере, две положительные рецензии.

В случае если в журнале объявляются и приложения, не имеющие научный характер, научные статьи должны быть сгруппированы и четко выделены в первой части тетради.

Профессиональные статьи:

1. профессиональная работа (приложения, в которых предлагаются опыты, полезные для совершенствования профессиональной практики, но которые не должны в обязательном порядке быть обоснованы на научном методе);
2. информативное приложение (передовая статья, комментарий и т.п.);
3. рецензия (книги, компьютерной программы, случая, научного события и т.п.).

Язык работы

Работа может быть написана на сербском, английском или другом языке, используемом в международной коммуникации в определенной научной области (русский, немецкий или французский).

Текст должен быть в лингвистическом и стилистическом смысле упорядочен, систематизирован, без сокращений (за исключением стандартных). Все физические величины должны соответствовать Международной системе единиц измерения – СИ. Очередность формул обозначается порядковыми номерами, с правой стороны в круглых скобках.

Сюжет (абстракт) и резюме

Сюжет (абстракт) является кратким информативным обзором содержания статьи, обеспечивающим читателю быстро и точно оценить его релевантность. В интересах редакции и авторов, чтобы сюжет содержал термины, часто используемые для индексирования и поиска статей. Составными частями сюжета являются цель исследования, методы и заключение. В сюжете должно быть от 100 до 250 слов, и должен находиться между титулами (заголовки, ФИО авторов и др.) и ключевыми словами, за которыми сле-

дует текст статьи. Если работа написана на сербском (русском, немецком или французском) языке, желательно, чтобы кроме сюжета на сербском (русском, немецком или французском) был предоставлен и сюжет в расширенном виде на английском языке – в качестве т.н. резюме (summary). Такой резюме должен находиться в конце статьи, после раздела Литература. Важно, чтобы резюме было в структурированном виде, и его длина может составлять до 1/10 длины статьи (оно более обширно, чем сюжет из начала статьи). Началом данного резюме может быть переведенный сюжет (из начала статьи), а затем должны следовать переведенные главные заголовки, подзаголовки и основы заключения статьи (литература не переводится). В структурированном резюме нужно перевести часть текста под заголовком и заголовком, принимая во внимание, чтобы она была пропорциональна их размеру и в то же время отражала суть.

Ключевые слова

Ключевыми словами являются термины или фразы, адекватно представляющие содержание статьи, необходимое для индексирования и поиска. Их надо присуждать, опираясь при этом на какой-то международный источник (регистр, словарь, тезаурус), наиболее приемлемый внутри данной научной области. Число ключевых слов не может превышать 10, а в интересах редакции и авторов, чтобы их частота была как можно больше. Ключевые слова даются на языке, на котором написана статья (сюжет), и на английском языке. В статье они пишутся непосредственно после сюжета, т.е. после резюме.

Программа ASSESTANT предоставляет возможность использования сервиса KWASS: автоматическое фиксирование ключевых слов из источников/словарей по выбору, т.е., которые автор/редактор воспринимает или нет.

Дата получения статьи

Дата, когда редакция получила статью, дата, когда редакция окончательно приняла статью для опубликования, а также даты, когда за истекший период были предоставлены эвентуальные исправления рукописи, приводятся в хронологическом порядке, на постоянном месте, как правило, в конце статьи.

Выражение благодарности

Наименование и номер проекта, т.е. название программы, в которой статья возникла, как и наименование учреждения, которое финансировало проект или программу, приводятся в отдельном примечании на постоянном месте, как правило, внизу первой страницы статьи.

Предыдущие версии работы

В случае если статья в предыдущей версии была изложена в устном обращении (- под одинаковым или похожим названием), сведение об этом должно быть указано в отдельном примечании, как правило, внизу первой страницы статьи. Работа, которая уже опубликована в некотором из журналов, не может быть опубликована в Военно-техническом вестнике (перепечатана), ни под похожим названием, ни измененном виде.

Табличное и графическое представление

Желательно, чтобы названия всех представлений (по возможности и текстуальное содержание) были представлены на двух языках (на языке работы и на английском). Таблицы пишутся таким же способом как и текст и обозначаются порядковыми номерами с верхней стороны. Фотографии и рисунки должны быть понятны, наглядны и удобные для репродукции. Рисунки надо делать в программах Word или corel. Фотографии и рисунки надо поставить на желаемое место в тексте.

Ссылки (цитирование) в тексте

Оформление ссылок на источники в рамках статьи должно быть однообразным. Военно-технический вестник для оформления ссылок, цитат и списка использованной литературы пользуется гарвардской системой (Harvard Referencing System, Harvard Style Manual). В тексте в скобках приводится фамилия цитируемого автора (или

фамилия первого автора, если авторов несколько), год издания и по необходимости номер страницы. Например: (Петрович, 2010., pp. 10-20). Рекомендации о способе цитирования размещены на странице сайта «Инструкция по использованию Гарвардского стиля». При оформлении ссылок, цитат и списка использованной литературы необходимо придерживаться установленных норм.

Программа ASEESTANT предоставляет при цитировании возможность использования сервиса CiteMatcher: фиксирование пропущенных цитат в работе и списке литературы.

Примечания (сноски)

Примечания указываются внизу страницы, на которой находится текст, к которым они относятся. Могут содержать менее важные детали, дополнительные объяснения, указания об использованных источниках (напр. научном материале, справочниках), но не могут быть заменой для цитированной литературы.

Лист референций (литература)

Цитированной литературой охвачены, как правило, библиографические источники (статьи, монографии и т.п.) и она представляется исключительно в отдельном разделе статьи, в виде листа референций. Референции не переводятся на язык работы.

Военно-технический вестник для оформления списка использованной литературы применяет гарвардскую систему (Harvard Style Manual). В списке литературы источники даются в алфавитном порядке авторов или редакторов. Рекомендации о способе цитирования размещены на странице сайта «Инструкция по использованию Гарвардского стиля». При оформлении списка использованной литературы необходимо придерживаться установленных норм.

Программа ASEESTANT при оформлении списка литературы предоставляет возможность использования сервиса RefFormatter: контроль оформления списка литературы в соответствии со стандартами Гарвардского стиля.

Нестандартное, неполное и непоследовательное приведение литературы в системах оценки журнала считается достаточной причиной для оспаривания научного статуса журнала.

Сопроводительное письмо

Кроме статьи предоставляется сопроводительное письмо, в котором нужно указать о каком виде статьи речь идет, которые из графических представлений (фотографии и рисунки) оригинальные, а которые взяты взаймы.

В сопроводительном письме приводятся и сведения об авторе: имя, средняя буква, фамилия, чин, звание, e-mail, адрес работодателя (воинская почта), домашний адрес, служебный телефон и личный (мобильный) телефон, счет и наименование банка, муниципалитет места проживания и единый идентификационный номер гражданина.

В случае если авторов статьи несколько, в сопроводительном письме указывается доля участия каждого из них отдельно в процентах, в целях расчета гонорара.

Все работы подлежат спец. рецензированию, в то время как опубликованные работы и спец. рецензии оплачиваются согласно действующему законодательству.

Список рецензентов Военно-технического вестника можно посмотреть на странице сайта **Список рецензентов**. Процесс рецензирования описан на странице сайта **Правила рецензирования**.

Почтовый адрес редакции:

«Војнотехнички гласник»,
11000 Београд, Ул. Браће Јировића 19
E-mail: vojnotehnicki.glasnik@mod.gov.rs.

РЕДАКТОР

Кандидат технических наук *Небойша* Гачеша
nebojsa.gacesa@mod.gov.rs

http://orcid.org/0000-0003-3217-6513

тел: +381 11 3349 497, +381 64 80 80 118

CALL FOR PAPERS AND ARTICLE FORMATTING INSTRUCTIONS

The instructions to authors about the article preparation for publication in the *Military Technical Courier* are based on the Act on scientific journal editing of the Ministry of Science and Technological Development of the Republic of Serbia, No 110-00-17/2009-01 of 9th July 2009. This Act aims at improving the quality of national journals and raising the level of their compliance with the international system of scientific information exchange. It is based on international standards ISO 4, ISO 8, ISO 18, ISO 215, ISO 214, ISO 18, ISO 690, ISO 690-2, ISO 999 and ISO 5122 and their national equivalents.

The Military Technical Courier / Vojnotehnički glasnik (www.vtg.mod.gov.rs/index-e.html, ВТГ.МО.УНП.СРБ, ISSN 0042-8469 – print issue, e-ISSN 2217-4753 – online, UDC 623+355/359) is a multidisciplinary scientific journal of the Ministry of Defence of the Republic of Serbia. It publishes scientific and professional papers as well as technical data about contemporary weapon systems and modern military technologies. Offering a logistic system support, the *Courier* is a part of a unique technical support to the Army services in the field of fundamental, applied and development research. It also deals with production and use of weapons and military equipment as well as with theoretical and practical achievements leading to professional development of the personnel of the Ministry of Defence and the Army of the Republic of Serbia.

Pursuant to the decision given in Article 27, paragraph 1, point 4, and in accordance with the acquired opinion given in Article 25, paragraph 1, point 5 of the Act on Scientific and Research Activities (Official Gazette of the Republic of Serbia, No 110/05, 50/06-cor and 18/10), the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia classified the Military Technical Courier for the year 2013

in the field technological development:

- **on the list of periodicals for materials and chemical technology**, category: leading scientific periodical of national interest (**M51**),
- **on the list of periodicals for electronics, telecommunications and IT**, category: scientific periodical of national interest (**M52**),
- **on the list of periodicals for mechanical engineering**, category: scientific periodical of national interest (**M52**),

in the field fundamental research:

- **on the list of periodicals for mathematics, computer sciences and mechanics**, category: scientific periodical of national interest (**M52**).

The approved lists of national periodicals for the year 2013 can be viewed on the website of the Military Technical Courier, page Journal categorization.

More detailed information can be found on the website of the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia.

The information on the categorization can be also found on the website of KOBSON (Consortium of Libraries of Serbia for Unified Acquisition).

The periodical is categorized in compliance with the Regulations on the procedure and method of evaluation and quantitative formulation of scientific and research results of researchers, stipulated by the National Council for Scientific and Technological Development (*Official Gazette of RS*, No 38/2008). More detailed information can be found on the website of the Ministry of Education, Science and Technological Development.

In accordance with the Regulations and the table about types and quantification of individual scientific and research results (as a part of the Regulations), a paper published in the *Military Technical Courier* scores 2 (two) points (category M51) and 1,5 (one and a half) point (category M52).

The journal is in the Serbian Citation Index – SC index (data base of national scientific journals), in the Russian Science Citation Index (RSCI) and is constantly

monitored depending on the impact within the bases themselves and indirectly in the international (e.g. Thompson Reuters) citation indexes. More detailed information can be viewed on the website of the Military Technical Courier, page Journal indexing.

Military Technical Courier enables open access and applies the Creative Commons Attribution (CC BY) licence provisions on copyright. The copyright details can be found on the **Copyright notice** page of the journal's website.

Manuscripts are submitted online, through the electronic editing system ASEESTANT, developed by the Center for Evaluation in Education and Science – CEON.

The access and the registration are through the Military Technical Courier site <http://www.vtg.mod.gov.rs/index-e.html>, on the page ASEESTANT or the page SCINDEKS or directly through the link (aseestant.ceon.rs/index.php/vtg).

The detailed instructions about the registration for the service are on the website <http://www.vtg.mod.gov.rs/index-e.html>, on the page Instructions for e-Ur: Electronic Editing - ASEESTANT.

All authors submitting a manuscript for publishing in the Military Technical Courier should register for an ORCID ID following the instructions on the web page Registration for an ORCID identifier.

The Military Technical Courier publishes articles in Serbian, English, Russian, German or French, using Arial and a font size of 11pt with Single Spacing.

The procedures of article preparation, writing and editing should be in accordance with the **Publication ethics statement**. (<http://www.vtg.mod.gov.rs/publication-ethics-statement.html>).

The article should contain the abstract with keywords, introduction, body, conclusion, references and the summary in English language (without heading and subheading enumeration). The article length should not exceed 24 pages of A4 paper format.

The article should be formatted following the instructions in the Article Form which can be downloaded from website page Article form.

Title

The title should be informative. It is in both Journal's and author's best interest to use terms suitable for indexing and word search. If there are no such terms in the title, the author is strongly advised to add a subtitle. The title should be given in English as well.

The titles precede the abstract and the summary in an appropriate language.

Letterhead title

The letterhead title is given at a top of each page for easier identification of article copies in an electronic form in particular. It contains the author's surname and first name initial (for multiple authors add "et al"), article title, journal title and collation (year, volume, issue, first and last page). The journal and article titles can be given in a shortened form.

Author's name

Full name(s) of author(s) should be used. It is advisable to give the middle initial. Names are given in their original form (with diacritic signs if in Serbian).

Author's affiliation

The full official name and seat of the author's affiliation is given, possibly with the name of the institution where the research was carried out. For organizations with complex structures, give the whole hierarchy (for example, University of Defence in Belgrade, Military Academy, Department for Military Electronic Systems). At least one organization in the hierarchy must be a legal entity. When some of multiple authors have the same affiliation, it must be clearly stated, by special signs or in other way, which department exactly they are affiliated with. The affiliation follows the author's name. The function and title are not given.

Contact details

The postal addresses or the e-mail addresses of the authors are given in the first page.

Type of articles

Classification of articles is a duty of the editorial staff and is of special importance. Referees and the members of the editorial staff, or section editors, can propose a category, but the editor-in-chief has the sole responsibility for their classification.

Journal articles are classified as follows:

Scientific articles:

1. Original scientific paper (giving the previously unpublished results of the author's own research based on scientific methods);
2. Survey paper (giving an original, detailed and critical view of a research problem or an area to which the author has made a contribution visible through his self-citation);
3. Short or preliminary communication (original scientific paper of full format but of a smaller extent or of a preliminary character);
4. Scientific critique or forum (discussion on a particular scientific topic, based exclusively on scientific argumentation) and commentaries.

Exceptionally, in particular areas, a scientific paper in the Journal can be in a form of a monograph or a critical edition of scientific data (historical, archival, lexicographic, bibliographic, data survey, etc.) which were unknown or hardly accessible for scientific research.

Papers classified as scientific must have at least two positive reviews.

If the journal contains non-scientific contributions as well, the section with scientific papers should be clearly denoted in the first part of the Journal.

Professional articles:

1. Professional paper (contribution offering experience useful for improvement of professional practice but not necessarily based on scientific methods);
2. Informative contribution (editorial, commentary, etc.);
3. Review (of a book, software, case study, scientific event, etc.)

Language

The article can be in Serbian, English or other language used in international communication in a particular scientific field (Russian, German or French).

The grammar and style of the article should be of good quality. The systematized text should be without abbreviations (except standard ones). All measurements must be in SI units. The sequence of formulae is denoted in Arabic numerals in parentheses on the right-hand side.

Abstract and summary

An abstract is a concise informative presentation of the article content for fast and accurate evaluation of its relevance. It is both in the Editorial Office's and the author's best interest for an abstract to contain terms often used for indexing and article search. The abstract describes the purpose of the study and the methods, outlines the findings and state the conclusions. A 100- to 250- word abstract should be placed between the

title and the keywords with the body text to follow. Besides an abstract in Serbian (Russian, German or French), articles in Serbian (Russian, German or French) are advised to have a summary in English, at the end of the article, after the Reference list. The summary should be structured and long up to 1/10 of the article length (it is more extensive than the abstract). It can start with the translated Serbian (Russian, German or French) abstract from the beginning of the article with translated main headings, subheadings and major conclusions to follow (Reference list is not translated). The structured summary should also contain the proportional informative parts of the text below the headings and subheadings.

Keywords

Keywords are terms or phrases showing adequately the article content for indexing and search purposes. They should be allocated heaving in mind widely accepted international sources (index, dictionary or thesaurus), such as the Web of Science keyword list for science in general. The higher their usage frequency is, the better. Up to 10 keywords immediately follow the abstract and the summary, in respective languages.

For this purpose, the ASEESTANT system uses a special tool KWASS for the automatic extraction of key words from disciplinary thesauruses/dictionaries by choice and the routine for their selection, i.e. acceptance or rejection by author and/or editor.

Article acceptance date

The date of the reception of the article, the dates of submitted corrections in the manuscript (optional) and the date when the Editorial Board accepted the article for publication are all given in a chronological order at the end of the article.

Acknowledgements

The name and the number of the project or programme within which the article was realised is given in a separate note at the bottom of the first page together with the name of the institution which financially supported the project or programme.

Article preliminary version

If an article preliminary version has appeared previously at a meeting in a form of an oral presentation (under the same or similar title), this should be stated in a separate note at the bottom of the first page. An article published previously cannot be published in the *Military Technical Courier* even under a similar title or in a changed form.

Tables and illustrations

All the captions should be in the original language as well as in English, together with the texts in illustrations if possible. Tables are typed in the same style as the text and are denoted by Arabic numerals at the top. Photographs and drawings, placed appropriately in the text, should be clear, precise and suitable for reproduction. Drawings should be created in Word or Corel.

Citation in the text

Citation in the text must be uniform. The Military Technical Courier applies the Harvard Referencing System given in the Harvard Style Manual. When citing sources within your paper, i.e. for in-text references of the works listed at the end of the paper, place the year of publication of the work in parentheses and optionally the number of the

page(s) after the author's name, e.g. (Petrovic, 2012, pp.10-12). A detailed guide on citing, with examples, can be found on Military Technical Courier website on the page Instructions for Harvard Style Manual. In-text citations should follow its guidelines.

For checking in-text citations, the ASESESTANT system uses a special tool CiteWatcher to find out quotes left out within papers and in reference lists.

Footnotes

Footnotes are given at the bottom of the page with the text they refer to. They can contain less relevant details, additional explanations or used sources (e.g. scientific material, manuals). They cannot replace the cited literature.

Reference list (Literature)

The cited literature encompasses bibliographic sources such as articles and monographs and is given in a separate section in a form of a reference list.

References are not translated to the language of the article.

In compiling the reference list and bibliography, the Military Technical Courier applies the Harvard System – Harvard Style Manual. All bibliography items should be listed alphabetically by author's name, without numeration. A detailed guide for listing references, with examples, can be found on Military Technical Courier website on the page Instructions for Harvard Style Manual. Reference lists at the end of papers should follow its guidelines.

In journal evaluation systems, non-standard, insufficient or inconsequent citation is considered to be a sufficient cause for denying the scientific status to a journal.

The covering letter

The article should be accompanied with a cover letter with the information about the author(s): surname, middle initial, first name, citizen personal number, rank, title, e-mail address, affiliation address, home address including municipality, phone number in the office and at home (or a mobile phone number), bank account and the name of the bank.

If there are more authors, their share in the article should be given in percents for honorarium calculation purposes.

The cover letter should state the type of the article and tell which illustrations are original and which are not.

All articles are peer reviewed. All authors and reviewers are paid an honorarium on publication of the article.

The list of referees of the Military Technical Courier can be viewed at website page **List of referees**. The article review process is described on the **Peer Review Process** page of the website.

Address of the Editorial Office:
Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier,
Braće Jugovića 19, Dom Vojske Srbije,
11000 Beograd,
Republic of Serbia.
E-mail: vojnotehnicki.glasnik@mod.gov.rs.

Editor
Nebojša Gaćeša MSc
nebojsa.gacesa@mod.gov.rs
 <http://orcid.org/0000-0003-3217-6513>
tel.: +381 11 3349 497, +381 64 80 80 118

Ликовно-графички уредник
мр *Небојша* Кујунџић
е-mail: nebojsa.kujundzic@mod.gov.rs

Техничко уређење
Звезда Јовановић

Лектор
Добрила Милетић, професор
е-mail: dobrila.miletic@mod.gov.rs

Превод на енглески
Јасна Вишњић, професор
е-mail: jasnavisnjic@yahoo.com,  <http://orcid.org/0000-0003-1728-4743>

Превод на руски
Карина Авајан, професор
е-mail: karinka2576@mail.ru
Оливера Хајдуковић, професор
е-mail: oliverahajdukovic@lukoil.rs

Превод на немачки
Гордана Богдановић, професор
е-mail: gordana.bogdanovic@yahoo.com

Превод на француски
Драган Вучковић,
е-mail: draganvuckovic@kbcnet.rs,  <http://orcid.org/0000-0003-1620-5601>

ЦИП – Каталогизација у публикацији:
Народна библиотека Србије, Београд

623+355 / 359
355 / 359

ВОЈНОТЕХНИЧКИ гласник : научни часопис
Министарства одбране Републике Србије =
Military Technical Courier : scientific
periodical of the Ministry of Defence of the
Republic of Serbia / одговорни уредник
Небојша Гаћеша. - Год. 1, бр. 1 (1953) -
- Београд (Браће Југовића 19) : Министарство
одбране Републике Србије, 1953- (Београд :
Војна штампарија). - 24 cm

Доступно и на:
<http://www.vtg.mod.gov.rs>
Тромесечно. - Друго издање на другом медијуму:
Vojnotehnički glasnik (Online) = ISSN
2217-4753
ISSN 0042-8469 = Војнотехнички гласник
COBISS.SR-ID 4423938

Цена: 350,00 динара
Тираж: 500 примерака

На основу мишљења Министарства за науку, технологију и развој Републике Србије,
број 413-00-1201/2001-01 од 12. 9. 2001. године,
часопис „Војнотехнички гласник“ је публикација од посебног интереса за науку.
УДК: Народна библиотека Србије, Београд

Художественный редактор
Кандидат наук, Небойша Куюнджич
e-mail: nebojsa.kujundzic@mod.gov.rs

Технический редактор
Звезда Йованович

Лектор и корректор
Добрила Милетич,
e-mail: dobrila.miletic@mod.gov.rs

перевод на английский язык
Ясна Вишнич, переводчик
e-mail: jasnavisnjic@yahoo.com, <http://orcid.org/0000-0003-1728-4743>

перевод на русский язык
Карина Авагян, переводчик
e-mail: karinka2576@mail.ru
Оливера Хайдукович, переводчик
e-mail: oliverahajdukovic@lukoil.rs

перевод на немецкий язык
Гордана Богданович, переводчик
e-mail: gordana.bogdanovic@yahoo.com

перевод на французский язык
Драган Вучкович, переводчик,
e-mail: draganvuckovic@kbcnet.com, <http://orcid.org/0000-0003-1620-5601>

CIP – Каталогизация в публикации
Национальная библиотека Сербии, Белград

623+355 / 359
355 / 359

ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ вестник: научный журнал
Министерства обороны Республики Сербия=
Military Technical Courier : scientific
periodical of the Ministry of Defence of the
Republic of Serbia / ответственный редактор
Небойша Гачеша. - God. 1, br. 1 (1953) –
Beograd (Braće Jugovića 19) : Ministarstvo
odbrane Republike Srbije, 1953- (Beograd :
Vojna štamparija. - 24 cm

Размещено на сайте:
<http://www.vtg.mod.gov.rs>
Ежеквартально - Другое издание: Военно-технический вестник (Online) = ISSN
2217-4753
ISSN 0042-8469 = Военно-технический вестник
COBISS.SR-ID 4423938

Цена: 350,00 динаров
Тираж: 5000 штук

На основании решения Министерства науки и технологий Республики Сербия, №
413-00-1201/2001-01 от 12. 9. 2001 года, Военно-технический вестник является
публикацией, имеющей особенное значение для науки.

УДК: Национальная библиотека Сербии, Белград

Graphic design editor
Nebojša Kujundžić MA
e-mail: nebojsa.kujundzic@mod.gov.rs

Copy editing
Zvezda Jovanović

Proofreader
Dobriša Miletić BA
e-mail: dobrila.miletic@mod.gov.rs

English translation and polishing
Jasna Višnjić BA
e-mail: jasnavisnjic@yahoo.com, <http://orcid.org/0000-0003-1728-4743>

Russian translation and polishing
Karina Avagyan BA
e-mail: karinka2576@mail.ru
Olivera Hajduković BA
e-mail: oliverahajdukovic@lukoil.rs

German translation and polishing
Gordana Bogdanović BA
e-mail: gordana.bogdanovic@yahoo.com

French translation and polishing
Dragan Vučković
e-mail: draganvuckovic@kbcnet.rs, <http://orcid.org/0000-0003-1620-5601>

CIP – Catalogisation in the publication:
National Library of Serbia, Belgrade

623+355 / 359
355 / 359

ВОЈНОТЕХНИЧКИ гласник : научни часопис
Министарства одбране Републике Србије =
Military Technical Courier : scientific
periodical of the Ministry of Defence of the
Republic of Serbia / одговорни уредник
Небојша Гаћеша. - Год. 1, бр. 1 (1953) -
- Београд (Браће Југовића 19) : Министарство
одбране Републике Србије, 1953- (Београд :
Војна штампарија). - 24 cm

Доступно и на:
<http://www.vtg.mod.gov.rs>
Тромесечно. - Друго издање на другом медијуму:
Vojnotehnički glasnik (Online) = ISSN
2217-4753
ISSN 0042-8469 = Војнотехнички гласник
COBISS.SR-ID 4423938

Price: 350.00 RSD
Printed in 500 copies

According to the Opinion of the Ministry of Science and Technological Development
No 413-00-1201/2001-01 of 12th September 2001, the *Military Technical Courier* is a
publication of special interest for science.

UDC: National Library of Serbia, Belgrade