



Вол. 67, бр. 4

2019



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



НАУЧНИ ЧАСОПИС МИНИСТАРСТВА ОДБРАНЕ РЕПУБЛИКЕ СРБИЈЕ

ВОЈНОТЕХНИЧКИ ГЛАСНИК

4 2019 ВОЈНОТЕХНИЧКИ ГЛАСНИК



Том 67, № 4

2019



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



НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ РЕСПУБЛИКИ СЕРБИЯ

ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК

4 2019 ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК

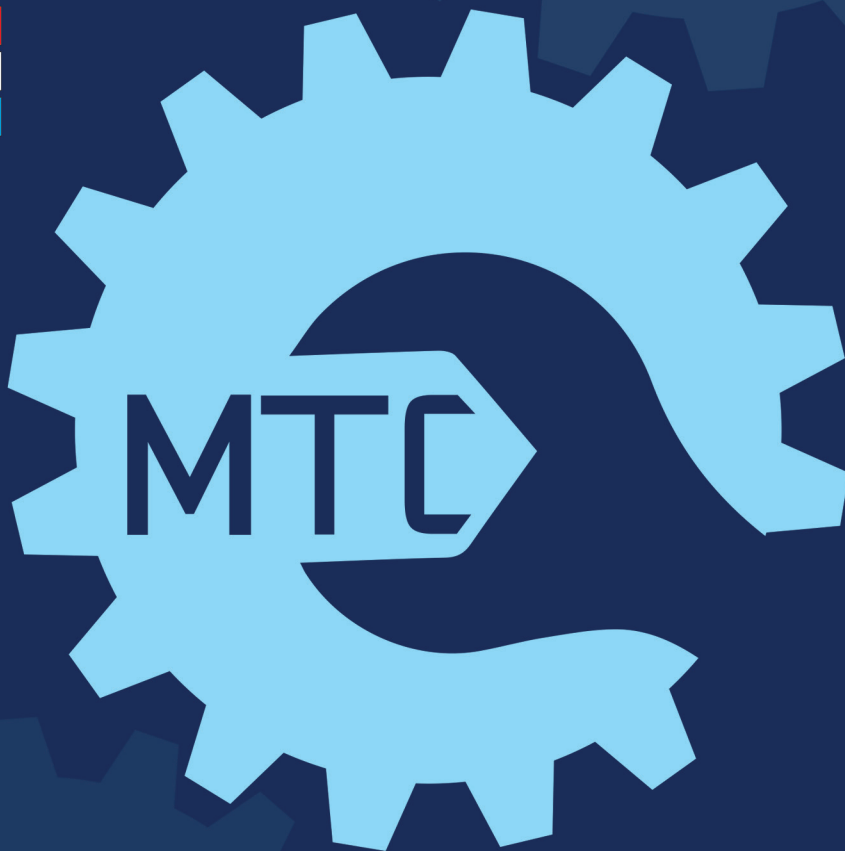


Vol. 67, Issue 4

2019



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



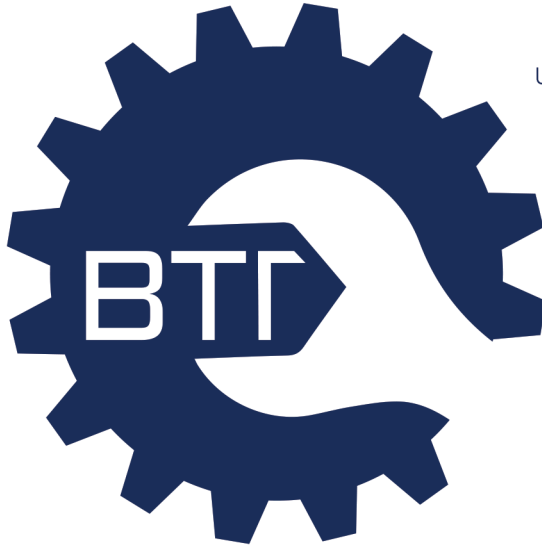
SCIENTIFIC JOURNAL OF THE MINISTRY OF DEFENCE OF THE REPUBLIC OF SERBIA

MILITARY TECHNICAL COURIER

MILITARY TECHNICAL COURIER

4 2019

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



НАУЧНИ ЧАСОПИС МИНИСТАРСТВА ОДБРАНЕ РЕПУБЛИКЕ СРБИЈЕ
ВОЈНОТЕХНИЧКИ ГЛАСНИК
ВОЛУМЕН 67 • БРОЈ 4 • ОКТОБАР – ДЕЦЕМБАР 2019.



NAUČNI ČASOPIS MINISTARSTVA ODBRANE REPUBLIKE SRBIJE
VOJNOTEHNIČKI GLASNIK
VOLUMEN 67 • BROJ 4 • OKTOBAR – DECEMBAR 2019.

vtg.mo.yup.srb
www.vtg.mod.gov.rs
COBISS.SR-ID 4423938
DOI: 10.5937/VojnotehnickiGlasnik

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



НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ РЕСПУБЛИКИ СЕРБИЯ
ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
ТОМ 67 • НОМЕР ВЫПУСКА 4 • ОКТЯБРЬ–ДЕКАБРЬ 2019.



SCIENTIFIC JOURNAL OF THE MINISTRY OF DEFENCE OF THE REPUBLIC OF SERBIA
MILITARY TECHNICAL COURIER
VOLUME 67 • ISSUE 4 • OCTOBER–DECEMBER 2019

втг.мо.унр.срб
www.vtg.mod.gov.rs
COBISS.SR-ID 4423938
DOI: 10.5937/VojnotehnickiGlasnik

Издавач:
МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ РЕПУБЛИКЕ СРБИЈЕ
УНИВЕРЗИТЕТ ОДБРАНЕ У БЕОГРАДУ

Ректор
Доц. др Горан Радовановић, генерал-потпуковник
Институт за научне информације
Директор
Проф. др Силва Добрић

ГЛАВНИ И ОДГОВОРНИ УРЕДНИК ВОЈНОТЕХНИЧКОГ ГЛАСНИКА
др Небојша Гаћеша, потпуковник
e-mail: nebojsa.gacesa@mod.gov.rs, tel.: 011/3603-260, 066/87-00-123, <http://orcid.org/0000-0003-3217-6513>

УРЕЂИВАЧКИ ОДБОР

- генерал-мајор проф. др Бојан Зрнић, Универзитет одбране у Београду, Војна академија, председник Уређивачког одбора, <http://orcid.org/0000-0002-0961-993X>,
- генерал-мајор проф. др Младен Вуруна, Министарство одбране Републике Србије, Управа за одбрамбене технологије Сектора за материјалне ресурсе, заменик председника Уређивачког одбора, <http://orcid.org/0000-0002-3558-4312>,
- пливоник проф. др Миленко Андрић, Универзитет одбране у Београду, Војна академија, <http://orcid.org/0000-0001-9038-0876>,
- др Сергеј А. Аргунов, Хидрографско друштво, Санкт-Петербург, Руска Федерација, <http://orcid.org/0000-0002-5264-6634>,
- проф. др Исмаил Бег, Економски факултет у Лахорев, Лахоре, Пакистан, <http://orcid.org/0000-0002-4191-1498>,
- проф. др Стеван М. Бербер, Универзитет у Окланду, Одсек за електротехничко и рачунарско инжењерство, Окланд, Нови Зеланд, <http://orcid.org/0000-0002-2432-3088>,
- проф. др Сања Вранеш, Институт „Михајло Пупин“, Београд, <http://orcid.org/0000-0002-7054-6928>,
- проф. др Леонид И. Гречихин, Белоруска државна ваздухопловна академија, Минск, Република Белорусија, <http://orcid.org/0000-0002-5358-9037>,
- проф. др Александар В. Дорохов, Национални економски универзитет у Харкову, Харков, Украјина, <http://orcid.org/0000-0002-0737-8714>,
- проф. др Жељко Ђуровић, Универзитет у Београду, Електротехнички факултет, <http://orcid.org/0000-0002-6076-442X>,
- др Никола Жегарац, Српска академија изумитеља и научника, Београд, <http://orcid.org/0000-0002-1766-8184>,
- проф. др Алекса Ј. Зејак, Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, <http://orcid.org/0000-0001-5114-2867>,
- проф. др Вукица М. Јовановић, Old Dominion University Норфолк, САД, <http://orcid.org/0000-0002-8626-903X>,
- проф. др Бранко Ковачевић, Универзитет у Београду, Електротехнички факултет, <http://orcid.org/0000-0001-9334-9639>,
- др Сања Љ. Копаца, Универзитет Унион - Никола Тесла, Београд, <http://orcid.org/0000-0002-7915-9430>,
- научни саветник др Ана И. Костов, Институт за рударство и металургију, Бор, <http://orcid.org/0000-0003-1893-7187>,
- ванр. проф. др Славољуб С. Лекић, Универзитет у Београду, Пољопривредни факултет, <http://orcid.org/0000-0002-4834-3550>,
- др Василије М. Мановић, Combustion and CCS Centre, Универзитет у Кранфилду, Кранфилд, Велика Британија, <http://orcid.org/0000-0002-8377-7717>,
- потпуковник ванр. проф. др Јаромир Марес, Универзитет одбране у Брну, Чешка Република, <http://orcid.org/0000-0002-1337-3821>,
- академик Градимир В. Миловановић, Српска академија наука и уметности, Београд, <http://orcid.org/0000-0002-3255-8127>,
- ванр. проф. др Penumarthu Parvateesam Murthy, University Guru Ghasidas Vishwavidyalaya, Department of Pure and Applied Mathematics, Биласпур (Chhattisgarh), Индија, <http://orcid.org/0000-0003-3745-4607>,
- научни саветник др Предраг Петровић, Институт за телекомуникације и електронику ИРИТЕЛ АД, Београд, <http://orcid.org/0000-0002-0455-7506>,
- проф. др Славко Ј. Покорни, Висока школа за информационе технологије, рачунарски дизајн и савремено пословање, Београд, <http://orcid.org/0000-0002-3173-597X>,
- проф. др Стојан Раденовић, Универзитет у Београду, Машински факултет, <http://orcid.org/0000-0001-8254-6688>,
- проф. др Андреја Самчовић, Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет, <http://orcid.org/0000-0001-6432-2816>,
- проф. др Николај И. Сидњаев, Московски државни технички универзитет „Н. Е. Бауман“, Москва, Руска Федерација, <https://orcid.org/0000-0002-5722-4553>,
- проф. др Јонел Старецу, Трансилванијски универзитет у Брашову, Румунија, <http://orcid.org/0000-0001-5947-7557>,
- научни саветник др Срећко С. Стопић, RWTH Aachen University, Faculty for Georesources and Materials Engineering, IME Process Metallurgy and Metal Recycling, Ахен, СР Немачка, <http://orcid.org/0000-0002-1752-5378>,
- проф. др Мирослав Д. Трајановић, Универзитет у Нишу, Машински факултет, <http://orcid.org/0000-0002-3325-0933>,
- доц. др Вадим Л. Хајков, Краснодар, Руска Федерација, <http://orcid.org/0000-0003-1433-3562>,
- проф. др Владимир Г. Чернов, Државни универзитет у Владимиру, Владимир, Руска Федерација, <http://orcid.org/0000-0003-1830-2261>,
- потпуковник др Небојша Н. Гаћеша, уредник Војнотехничког гласника, секретар Уређивачког одбора, <http://orcid.org/0000-0003-3217-6513>.

Адреса редакције: ВОЈНОТЕХНИЧКИ ГЛАСНИК, Генерала Павла Јуришића Штурма 1, 11040 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

<https://doaj.org/toc/2217-4753>

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

Претплата на штампано издање: e-mail: vojnotehnicki.glasnik@mod.gov.rs; тел. 066/87-00-123

Рукописи се не враћају

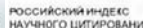
Часопис излази тромесечно

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-a, највећег светског агрегатора часописа, периодике и осталих извора у пуном тексту. Комплетан текст *Војнотехничког гласника* доступан је у базама података EBSCO Publishing-a.

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



Издательство:
МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ РЕСПУБЛИКИ СЕРБИЯ
УНИВЕРСИТЕТ ОБОРОНЫ В Г. БЕЛГРАД

РЕКТОР
Генерал-лейтенант доц. д-р Горан Радованович

Институт научной информации
Директор
Профессор д-р Силва Добрич

ГЛАВНЫЙ И ОТВЕТСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР ЖУРНАЛА «ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК»
Кандидат технических наук Небойша Гачеша, подполковник
e-mail: nebojsa.gacesa@mod.gov.rs, тел.: +381 11 3603 260, +381 66 87 00 123, <http://orcid.org/0000-0003-3217-6513>
РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

- Генерал-майор профессор д-р Боян Зрич, Университет обороны в г. Белград, Военная академия, председатель Редакционной коллегии, <http://orcid.org/0000-0002-0961-993X>,
- Генерал-майор профессор д-р Младен Вурна, начальник Управления оборонительных технологий при Департаменте материальных ресурсов Министерства обороны Республики Сербия, заместитель председателя Редакционной коллегии, <http://orcid.org/0000-0002-3558-4312>,
- Полковник профессор д-р Миленко Андрич, Университет обороны в г. Белград, Военная академия, <http://orcid.org/0000-0001-9038-0876>,
- Кандидат наук Сергей А. Аргунов, Гидрографическое общество, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, <http://orcid.org/0000-0002-5264-6634>,
- Профессор д-р Исмаил Бег, Экономический факультет в г. Лахор, шт. Пенджаб, Пакистан, <http://orcid.org/0000-0002-4191-1498>,
- Д-р Стеван М. Бербер, Оклендский университет, Департамент электроники и компьютерной инженерии, г. Окленд, Новая Зеландия, <http://orcid.org/0000-0002-2432-3088>,
- Профессор д-р Саня Вранеш, Институт «Михайло Пупин», г. Белград, <http://orcid.org/0000-0002-7054-6928>,
- Профессор д-р Леонид И. Гречихин, Белорусская государственная академия авиации, г. Минск, Республика Беларусь, <http://orcid.org/0000-0002-5358-9037>,
- Профессор д-р Александр В. Дорохов, Харьковский национальный экономический университет, г. Харьков, Украина, <http://orcid.org/0000-0002-0737-8714>,
- Профессор д-р Желько Джурович, Белградский университет, Электротехнический факультет, <http://orcid.org/0000-0002-6076-442X>,
- Д-р Никола П. Жегарац, Сербская академия изобретателей и ученых, г. Белград, <http://orcid.org/0000-0002-1766-8184>,
- Профессор д-р Алекса Зейак, Университет в г. Нови Сад, Факультет технических наук, <http://orcid.org/0000-0001-5114-2867>,
- Д-р Вуица М. Иванович, Университет Олд Доминион, г. Норфолк, шт. Вирджиния, США, <http://orcid.org/0000-0002-8626-903X>,
- Профессор д-р Бранко Ковачевич, Белградский университет, Электротехнический факультет, <http://orcid.org/0000-0001-9334-9639>,
- Д-р Саня Л. Корица, Университет «Унион – Никола Тесла», г. Белград, <http://orcid.org/0000-0002-7915-9430>,
- Научный советник д-р Анна Костов, Институт горного дела и металлургии, г. Бор, <http://orcid.org/0000-0003-1893-7187>,
- Д-р Славолюб С. Лекич, Белградский университет, Сельскохозяйственный факультет, <http://orcid.org/0000-0002-4834-3550>,
- Д-р Василий М. Манович, Центр горения, сбора и хранения углерода, Университет Кранфилд, г. Кранфилд, Великобритания, <http://orcid.org/0000-0002-8377-7717>,
- Подполковник д-р Яромир Марес, Университет обороны в г. Брно, Чешская Республика, <http://orcid.org/0000-0002-1337-3821>
- Профессор д-р Градимир В. Милованович, член Сербской академии наук, г. Белград, <http://orcid.org/0000-0002-3255-8127>,
- Д-р Пенумаркти Парватеесам Муртки, Университет Гую Гхасидас Вишвавидялая, департамент фундаментальной и прикладной математики, г. Биласпур, шт. Чхаттисгарх, Индия, <http://orcid.org/0000-0003-3745-4607>,
- 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, г. Белград, <http://orcid.org/0000-0002-3173-597X>,
- Профессор д-р Стоян Раденович, Белградский университет, Факультет машиностроения, <http://orcid.org/0000-0001-8254-6688>,
- Профессор д-р Андрея Самочич, Белградский университет, Факультет транспорта, <http://orcid.org/0000-0001-6432-2816>,
- Профессор д-р Николай И. Сидняев, Московский Государственный Технический Университет им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация, <https://orcid.org/0000-0002-5722-4553>,
- Профессор д-р Йонел Старецу, Трансильванский университет в г. Брашов, Румыния, <http://orcid.org/0000-0001-5947-7557>,
- Научный советник д-р Сречко С. Стопич, Рейнско-Вестфальский технический университет г. Ахен, факультет георесурсов и технологий материалов, департамент металлургических технологий и обработки металлов, г. Ахен, ФРГ, <http://orcid.org/0000-0002-1752-5378>,
- Профессор д-р Мирослав Траянович, Университет в г. Ниш, Факультет машиностроения, <http://orcid.org/0000-0002-3325-0933>,
- Кандидат технических наук, доцент Вадим Л. Хайков, г. Краснодар, Российская Федерация, <http://orcid.org/0000-0003-1433-3562>,
- Профессор д-р Владимир Г. Чернов, Владимирский государственный университет, г. Владимир, Российская Федерация, <http://orcid.org/0000-0003-1830-2261>,
- Подполковник кандидат наук Небойша Гачеша, редактор журнала «Военно-технический вестник», секретарь Редакционной коллегии, <http://orcid.org/0000-0003-3217-6513>.

Адрес редакции: ВОЈНОТЕХНИЧКИ ГЛАСНИК, Ул. Генерала Павла Јуришица Штурма 1, 11040 Белград

<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

<https://doaj.org/toc/2217-4753>

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

Подписка на печатную версию журнала: e-mail: vojnotehnicki.glasnik@mod.gov.rs; тел. +381 66 87 00 123

Присланные в редакцию журнала статьи не возвращаются.

Журнал выпускается ежеквартально

Первый номер журнала «Военно-технический вестник» 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.

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



Publisher:
MINISTRY OF DEFENCE OF THE REPUBLIC OF SERBIA
UNIVERSITY OF DEFENCE IN BELGRADE

Rector
Lieutenant General Goran Radovanović, PhD, Assistant Professor

Institute for scientific information
Director
Professor Silva Dobrić, PhD

EDITOR IN CHIEF OF THE MILITARY TECHNICAL COURIER

Lt Col Nebojša Gaćeša MSc
e-mail: nebojsa.gacesa@mod.gov.rs, tel: +381 11 3603 260, +381 66 87 00 123, <http://orcid.org/0000-0003-3217-6513>

EDITORIAL BOARD

- Major General Bojan Znić, PhD, Professor, University of Defence in Belgrade, Military Academy, Belgrade (Head of the Editorial Board), <http://orcid.org/0000-0002-0961-993X>
- Major General Mladen Vuruna, PhD, Professor, Ministry of Defence, Head of the Department for Defence Technologies, Material Resources Sector, Belgrade (Deputy Head of the Editorial Board), <http://orcid.org/0000-0002-3558-4312>
- Colonel Milenko Andrić, PhD, Professor, University of Defence in Belgrade, Military Academy, <http://orcid.org/0000-0001-9038-0876>
- Sergei A. Arzunov, MSc, Hydrographic society, St. Petersburg, Russian Federation, <http://orcid.org/0000-0002-5264-6634>
- Professor Ismat Beq, PhD, Lahore School of Economics, Lahore, Pakistan, <http://orcid.org/0000-0002-4191-1498>
- Stevan M. Berber, PhD, The University of Auckland, Department of Electrical and Computer Engineering, Auckland, New Zealand, <http://orcid.org/0000-0002-2432-3088>
- Professor Vladimir G. Chernov, DSc, Vladimir State University, Department of Management and Informatics in Technical and Economic Systems, Vladimir, Russian Federation, <http://orcid.org/0000-0003-1830-2261>
- Professor Aleksandr V. Dorohov, PhD, Kharkiv National University of Economics, Kharkiv, Ukraine, <http://orcid.org/0000-0002-0737-8714>
- Professor Željko Đurović, PhD, University in Belgrade, Faculty of Electrical Engineering, <http://orcid.org/0000-0002-6076-442X>
- Professor Leonid I. Gretchihin, PhD, Belarusian State Academy of Aviation, Minsk, Republic of Belarus, <http://orcid.org/0000-0002-5358-9037>
- 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>
- Associate professor Vadim L. Khaikov, PhD, Krasnodar, Russian Federation, <http://orcid.org/0000-0003-1433-3562>,
- Assistant Professor Sanja Li. Korica, PhD, University Union - Nikola Tesla, Belgrade, <http://orcid.org/0000-0002-7915-9430>
- Scientific Advisor Ana Kostov, PhD, Institute of Mining and Metallurgy, Bor, Serbia, <http://orcid.org/0000-0003-1893-7187>
- Professor Branko Kovačević, PhD, University of Belgrade, Faculty of Electrical Engineering, <http://orcid.org/0000-0001-9334-9639>
- Associate Professor Slavoljub S. Lekić, PhD, University of Belgrade, Faculty of Agriculture, <http://orcid.org/0000-0002-4834-3550>
- Vasilije M. Manović, PhD, Combustion and CCS Centre, Cranfield University, Cranfield, UK, <http://orcid.org/0000-0002-8377-7717>
- Lt Colonel Jaromir Mares, PhD, Associate Professor, University of Defence in Brno, Czech Republic, <http://orcid.org/0000-0002-1337-3821>
- 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>
- Associate Professor Penumarthi Parvateesam Murthy, PhD, University Guru Ghasidas Vishwavidyalaya, Department of Pure and Applied Mathematics, Bilaspur (Chhattisgarh), India, <http://orcid.org/0000-0003-3745-4607>,
- 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>
- Professor Stojan N. Radenović, PhD, University of Belgrade, Faculty of Mechanical Engineering, <http://orcid.org/0000-0001-8254-6688>,
- Professor Andreja Samčović, PhD, University of Belgrade, Faculty of Transport, <http://orcid.org/0000-0001-6432-2816>,
- Professor Nikolay I. Sidnyaev, PhD, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-5722-4553>
- 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, University of Niš, Faculty of Mechanical Engineering, <http://orcid.org/0000-0002-3325-0933>
- Professor Sanja Vraneš, PhD, Institute "Mihailo Pupin", Belgrade, <http://orcid.org/0000-0002-7054-6928>
- Professor Aleksa Zejak, PhD, University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, <http://orcid.org/0000-0001-5114-2867>
- Nikola P. Žegarac, PhD, Serbian Academy of Inventors and Scientists, Belgrade, <http://orcid.org/0000-0002-1766-8184>
- Lt Colonel Nebojša Gaćeša, MSc, Editor of the Military Courier, (Secretary of the Editorial Board), <http://orcid.org/0000-0003-3217-6513>.

Address: VOJNOTEHNIČKI GLASNIK/MILITARY TECHNICAL COURIER, Gener. Pavla Jurišića Šturma 1, 11040 Belgrade

<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

<https://doi.org/10.2217-4753>

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

Subscription to print edition: e-mail: vojnوتهhnicki.glasnik@mod.gov.rs; Tel. +381 66 87 00 123

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 РАДОВИ

Мирјана Н. Анђелковић-Лукић

Енергетски адитиви додавани експлозивним пуњењима ракета
у агресији на СР Југославију 1999. године 723-734

*Зоран Ј. Бајић, Драган С. Памучар, Јовица Ђ. Богданов,
Михаел М. Бучко, Злате С. Величковић*

Оптимизација адсорпције арсенита на адсорбент на бази
хидроксиапатита коришћењем адаптивног неуро-фази система 735-752

Вадим Л. Хајков

Коришћење афине трансформација за генерисање мета у
симулатору за обуку у руковању ватреним оружјем 753-767

*Александар Н. Шијко, Анатолиј М. Пављученко,
Алексеј А. Обухов, Игор В. Коплик*

Моделирање кретања пројектила у лансирној цеви 768-789

Радоје Б. Јевтић

Симулација евакуације из Теразијског тунела 790-805

СТРУЧНИ РАДОВИ

Небојша В. Николић

Примена теорије масовног опслуживања у војној области
на 110. годишњицу 806-819

*Марко Д. Мићевић, Милан Н. Ђорђевић,
Александар Б. Илић, Немања Н. Павловић, Андреј Ј. Пинћир,
Влада С. Соколовић, Марјан А. Миленков*

Међународна кадетска логистичка вежба „FOURLOG” 820-836

САВРЕМЕНО НАОРУЖАЊЕ И ВОЈНА ОПРЕМА 837-857

Милош М. Јевтић, Драган М. Вучковић

ПОЗИВ И УПУТСТВО АУТОРИМА 858-874

СОДЕРЖАНИЕ

ОРИГИНАЛЬНЫЕ НАУЧНЫЕ СТАТЬИ

Мирьяна Н. Анджелкович-Лукич

Энергетические аддитивы, добавленные в заряд крылатых ракет в ходе войны против СР Югославии в 1999 году 723-734

*Зоран Й. Баич, Драган С. Памучар, Йовица Дж. Богданов,
Михаел М. Бучко, Злате С. Величкович*

Оптимизация адсорбции арсенита на адсорбенте гидроксипатита с использованием адаптивной нейро-нечеткой инференционной системы 735-752

Вадим Л. Хайков

Применение аффинного преобразования для генерации стрелковых мишеней в стрелковом тренажёре-имитаторе 753-767

*Александр Н. Шийко, Анатолий М. Павлюченко,
Алексей А. Обухов, Игорь В. Коплык*

Моделирование движения реактивного снаряда в трубчатой направляющей пусковой установки 768-789

Радое Б. Евтич

Моделирование эвакуации из тоннеля «Теразие» 790-805

ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

Небойша В. Николич

Применение теории массового обслуживания в военной области в свете 110-го юбилея 806-819

*Марко Д. Мичевич, Милан Н. Джорджевич,
Александар Б. Илич, Неманя Н. Павлович, Андрей Й. Пинчир,
Влада С. Соколович, Марян А. Миленков*

Международные кадетские логистические учения „FOURLOG“ 820-836

СОВРЕМЕННОЕ ВООРУЖЕНИЕ И ВОЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ 837-857

Милош М. Евтич, Драган М. Вучкович

ПРИГЛАШЕНИЕ И ИНСТРУКЦИИ ДЛЯ АВТОРОВ РАБОТ 858-874

CONTENTS

ORIGINAL SCIENTIFIC PAPERS

Mirjana N. Anđelković-Lukić

Energetic additives in explosive charges of rockets used during the war against the FR Yugoslavia in 1999 723-734

Zoran J. Bajić, Dragan S. Pamučar, Jovica Đ. Bogdanov, Mihael M. Bučko, Zlate S. Veličković

Optimization of arsenite adsorption on hydroxy apatite based adsorbent using the adaptive neuro-fuzzy inference system..... 735-752

Vadim L. Khaikov

Using affinity for target generation in a firearms training simulator 753-767

Oleksandr N. Shyiko, Anatoly M. Pavlyuchenko, Olexii A. Obukhov, Igor V. Kopyk

Modeling the movement of a missile in the tubular guide of the starting installation 768-789

Radoje B. Jevtić

Simulation of evacuation from the Terazije tunnel 790-805

PROFESSIONAL PAPERS

Nebojša V. Nikolić

The 110th anniversary of queueing theory: its applications in the military 806-819

Marko D. Mićević, Milan N. Đorđević, Aleksandar B. Ilić, Nemanja N. Pavlović, Andrej J. Pinćir, Vlada S. Sokolović, Marjan A. Milenkov

Multinational logistics cadet exercise FOURLOG 820-836

MODERN WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT 837-857

Dragan M. Vučković

CALL FOR PAPERS AND INSTRUCTIONS FOR AUTHORS 858-874

ENERGETIC ADDITIVES IN EXPLOSIVE CHARGES OF ROCKETS USED DURING THE WAR AGAINST THE FR YUGOSLAVIA IN 1999

Mirjana N. Anđelković-Lukić

Military Technical Institute, Belgrade, Republic of Serbia,
e-mail: mirjana.andjelkovic.lukic45@gmail.com,
ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0002-5076-4901>

DOI: 10.5937/vojtehg67-22549; <https://doi.org/10.5937/vojtehg67-22549>

FIELD: Chemical Technology
ARTICLE TYPE: Original Scientific Paper
ARTICLE LANGUAGE: English

Summary:

The use of explosive devices containing energy enhancement additives such as halogen compositions, metals in a form of fine powders and waxes resulted in the formation of toxic gases after their detonation. The released harmful gases together with the products of destruction of bombed targets had the effects of special chemical warfare.

Key words: explosive devices, energetic additives, chemical warfare.

Introduction

Experts in Serbia were mostly focused on understanding the effects of depleted uranium on the health of human population overlooking, however, the danger of chemical pollution caused especially by a fluid pyralene (Anđelković-Lukić, 2015a,2015b) and its burning products. Pyralene was incinerated when high voltage transformers were bombed. One of the most harmful products of pyralene decomposition is dioxin which is one of the most dangerous pollutants of natural environment (Anđelković-Lukić, 2006).

Additional pollution of the environment came from the use of weapons containing explosive charges of different chemical compositions which, when detonated, released poisoning and suffocating gases as well as many other contaminants of air, water and soil.

Every explosive can be described by the general formula $C_xH_yN_zO_p$. The way of explosive function is through extremely fast, in order of nano seconds, oxidation – detonation. In the process of detonation, a huge amount of energy is released, followed by a production of high volume of hot gases – products of detonation, which, under very high pressure, have destructive effects. The formed products of detonation contain different gases such as: carbon monoxide, carbon dioxide, nitrogen oxides, cyanic compounds, hydrogen, nitrogen, water vapor, and elementary carbon as soot. The released gases are toxic by themselves and, in a combination with the burning products of oil, gasoline or vinyl chloride from the targeted tanks and reservoirs, had the final effect of chemical warfare.

In order to increase brisance, i.e. destructive energy of explosives, different additives and oxidizing agents of nitro formal types or ammonium perchlorate and metal powders, mostly aluminum, were used. The validity of the assumption that fluorine-based additives were used in warheads of missiles, rockets and bombs dropped on the FR Yugoslavia and Republika Srpska was confirmed by the effects on human population. One of these effects is necrosis of fingers (the case of a little girl in Republika Srpska who played in a bomb crater shortly after bombing).

A new weapon called “soft bombs” based on electroconductive fibers produced by highly sophisticated nano technology was used for the first time on the high voltage grid in Yugoslavia. This ammunition is the 4th generation of ammunition. Figure 1 shows a coil of electroconductive glass-aluminum fibers.



Picture 1 – Coils of electroconductive fibers on a coil

Рис. 1 – Катушки токопроводящей нити

Слика 1 – Намотаји електропроводљивих влакана на калему

The 3rd generation were “graphite bombs” used in the Iraq bombing and produced also by nano technology. (Anđelković-Lukić, 2015a)

Energetic additives to explosive charges

Research on the addition of fluorine in forms of formals into nitro-compounds was started in the USA in the late fifties of the last century. In 1961, upon a request from “Aerojet-General-Corporation” based on Navy needs, experiments involving the addition of fluorine into nitro compounds were carried out in the “Office of Naval Research” laboratories, Arlington, Virginia.

The objective of this research was to develop new propellants for long-range missiles. As a result of this research, several fluorine-based nitroformals were synthesized.

These very toxic compounds are also used as additives to explosives and as additives to liquid rocket propellants. In explosive compositions, ammonium perchlorate and aluminum powder are often used as energetic additives. Ammonium perchlorate is a strong oxidizer used as an additive to explosives as well as an additive to gunpowder and solid rocket propellants. In development and research laboratories of NATO countries, especially in the USA and France, there is an ongoing search for new, cheaper and more powerful explosives than “classical” hexogen and octogen. In line with this, a new CL-20 explosive was synthesized in the nineties of the last century.

It was named after the laboratory where it was synthesized for the first time (China Lake in California) (Anđelković-Lukić, 2009). CL-20 is a nitramine-based explosive about 20% more powerful than octogen (HMX). This is the reason why it has the number 20 in its name (Anđelković-Lukić, 2009). Even though the brisance of this explosive is 20% higher than that of octogen, additives based on fluorinated nitro formals are used.

These compounds are added to octogen which was phlegmatized with polymer pDNPA, and hexogen is added to a fluorine copolymer. Such compositions and their velocities of detonation (VOD) are shown in Table 1.

There is a realistic assumption that these kinds of compositions were implemented in some ammunition used in the bombing of Yugoslavia.

Table 1 – Explosive compositions fluorinated containing nitro formals and fluorine polymers (Anđelković-Lukić, 2000), (Dobratz, 1981)

Таблица 1 – Взрывчатые составы с фторсодержащими нитроформами и фторполимерами (Anđelković-Lukić, 2000), (Dobratz, 1981)

Табела 1 – Експлозивни састави са флуорованим нитроформалима и флуорним полимерима (Anđelković-Lukić, 2000), (Dobratz, 1981)

Explosive	Composition	%.	Density, (g/cm ³)	VOD, (m/s)
LX-09-0	HMX	93.0	1.837	8810
	pDNPA	4.6		
	FEFO	2.4		
PBX 9010	RDX	90	1.78	8370
	Kel-F	10		
RX-49-AE	CL-20	80.46	1.887	8950
	FEFO	9.77		
	nitroformal mixture	9.77		

pDNPA - Bis(2,2-dinitropropil)acetal

FEFO-bis (2,2,2-fluorodinitroetil)formal

Kel-F- Chlorotrifluoroethylene/vinilidinf luoride copolymer, 3/1

Detonation products of explosives containing fluorine compounds

Detonation of explosives containing fluorinated nitroformals (Anđelković-Lukić, 2015a,2015b), (Minier & Behrens, 1997) in their compositions as well as burning of liquid rocket propellants containing these compounds lead to the formation of very toxic detonation products such as hydrogen fluoride, hydrofluoric acid, very reactive fluoric radicals, and fluoric oxides. All these aggressive compounds are formed under adiabatic conditions during detonation. Airborne hydrogen fluoride (g) reacts with traces of water present in the air to form hydrofluoric acid. The concentration of this acid of only 1 cm³ in 1 m³ of air can severely damage the human body and cause heavy poisoning. Hydrofluoric acid is a very strong poison, extremely harmful to the human tissue. Detonation of fluoric compounds may lead to the formation of strong toxic gases of fluoric oxides.

If in a detonation process fluorine is formed, it will react very forcefully with water by capturing hydrogen and releasing huge quantities of atomic oxygen – ozone, hydrogen peroxide, fluoric monoxide, and hydrogen fluoride.

Decomposition of fluorine- containing explosives

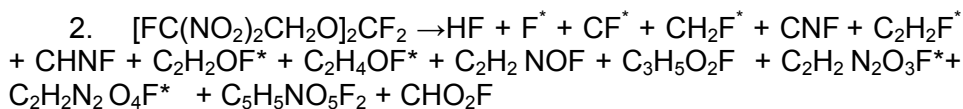
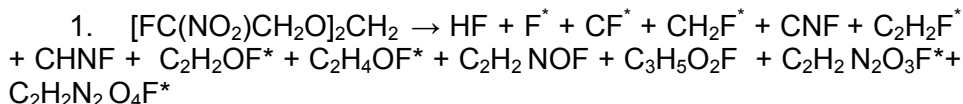
Detonation or burning of this kind of compounds releases a number of reactive chemical radicals (Minier & Behrens, 1997). In the equations below, only radicals and molecules of the highest concentration in decomposition products of two explosives of nitro-formal type are presented:

bis(2,2,2-fluorodinitro-ethyl) formal, (FC(NO₂)CH₂O]₂CH₂), FEFO

and

bis(2,2,2-fluorodinitro ethyl) difluoroformal ([FC(NO₂)₂CH₂O]₂CF₂) DFF.

Both explosives are very toxic liquids. Their decomposition gives a big number of fluoro radicals.



FEFO is a liquid explosive with a velocity of detonation of 7500 m/s at a density of 1.60 g/cm³.

DFF is also a liquid explosive, more difficult to initiate and with a velocity of detonation of 6849 m/s at a density of 1.67 g/cm³ (Minier & Behrens, 1997). Since it has two more atoms in its formula than FEFO, it is more toxic as well.

Detonation products of explosives containing ammonium perchlorate and aluminum

Very similar reactions with comparable toxicity of reaction products are identified in the decomposition of chlorine-based compounds such as ammonium perchlorate (Cai et al, 2008).

As it can be seen from Table 2, this strong oxidizer is used in high percentage in a number of explosive compositions.

Table 2 – Compositions of the explosives used (Anđelković-Lukić, 2015a,2015b)
 Таблица 2 – Составы используемых взрывчатых веществ (Anđelković-Lukić, 2015a,2015b)

Табела 2 – Састав коришћених експлозива (Anđelković-Lukić, 2015a,2015b)

Explosive, %	Energetic additive, %	Aluminum powder, %	Additive, %
Octogene, HMX 94%	nitrocellulose 3%		CEF* 3%
Hexogene, RDX 59% TNT 39%			Vax 2.0%
Hexogen 48.0	Ammonium perchlorate 25%	Aluminum 27%	
Hexogen 24% Metrioltrinitrate 21%	Ammonium perchlorate 28%	Aluminum 27%	
TNT 80%		Aluminum 20%	
TNT 50%	Ammonium nitrate 25%	Aluminum 25%	

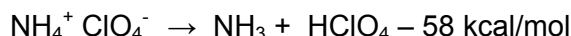
*CEF- trihloretil phosphate

In more recent explosive charging formulations, nano-particle aluminum is added to increase energy efficiency and have better characteristics than aluminum in micrometer dimensions. Nano-powders of aluminum, due to a larger surface area, can increase the burning rate of the propellant and as such are more used in propellants than in mixtures with explosives. (Sundaram et al, 2015), (Weidong et al, 2008)

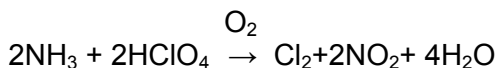
As it can be seen from Table 2, powdered aluminum is added only to explosives that are not phlegmised by polymeric energy materials, since such PBX explosives decrease the rate of detonation (Brousseau & Anderson, 2002). Explosives with aluminum additives have low sensitivity and good mechanical properties.

Addition of aluminium powder and ammonium perchlorate into explosive charges builds up internal energy and consequently increases the destructive and burning effect of the projectile at the target. Ammonium perchlorate has positive oxygen balance, 34.04 %, and by its addition negative oxygen balance of brisant explosives can be modified (Brousseau & Anderson, 2002). The decomposition of ammonium

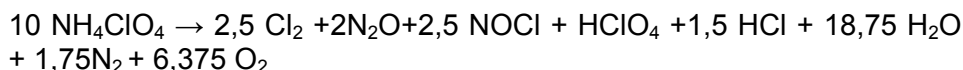
perchlorate via burning (oxidizing process) can be explained by a few models. The most acceptable model is the classical model defining the burning process in a few consecutive steps. Endothermic decomposition of ammonium perchlorate results in the formation of perchloric acid and ammonia according to the reaction:



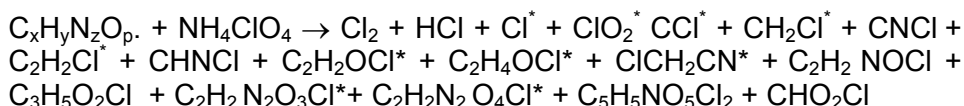
The formed ammonia and perchloric acid are further exothermically decomposed into the final combustion products: chlorine, hydrogen chloride, nitrogen oxides, and water.



The second presumed way of the decomposition of ammonium perchlorate can be described by the equation:



Under adiabatic conditions of detonation, an extremely toxic, suffocating and aggressive gas - elemental chlorine is formed. Chloric oxides and radicals formed by detonation react with water from the air to form "acidic rain" which destroys and damages vegetation. The most common detonation products of the mixture of explosive $\text{C}_x\text{H}_y\text{N}_z\text{O}_p$ and ammonium perchlorate NH_4ClO_4 are presented in the equation below.



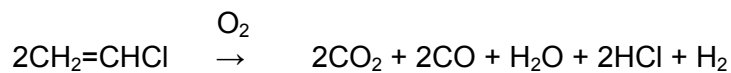
Considering that ammonium perchlorate as energetic additive is used in a significant amount in solid propellants for large caliber rockets and cruise missiles, a huge volume of aggressive and reactive chlorine-based compounds and radicals are released into the atmosphere during a projectile flight. These aggressive and reactive compounds are also formed in detonation of mixtures of high explosives and halogen-based compounds.

Decomposition of vinyl chloride

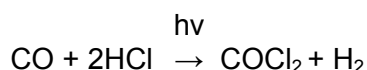
In the "Pančevo" refinery, a reservoir with vinyl chloride was deliberately targeted and destroyed. Vinyl chloride is very toxic and carcinogenic. It is used in the production of polyvinyl chloride – PVC. Beside carbon oxides and carbon formed by burning of vinyl chloride in the open air, toxic hydrochloric acid and extremely strong chlorine-based poison-phosgene are also formed as a result of vinyl chloride partial oxidation. (Savezno Ministarstvo za razvoj, nauku i životnu sredinu, 2000)

Vinyl chloride (chloroethane, chloroethylene), $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{Cl}$ is a colorless gas with ethereal odor, of molecular mass 62.50, with the boiling point at -13.9 C and the melting point at -160 C . The solubility of vinyl chloride in water is low and good in ethanol and ether. It is combustible and explosible. It is easily polymerized. The product of polymerization is plastic material polyvinyl chloride.

The combustion of vinyl chloride having leaked from the bombed and damaged tanks can be described by the following equation:



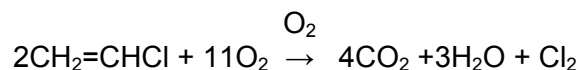
When there is not enough oxygen, burning products react with each other in a gas phase and under the high temperature producing carbonyl chloride according to the following equation:



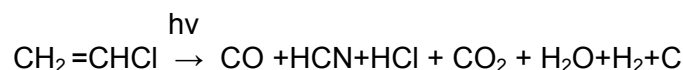
Carbonyl chloride, known as phosgene, belongs to chemical warfare gases of suffocating type. It releases odor of rotten fruit or hay.

The oxidation (burning) of vinyl chloride can go in two directions:

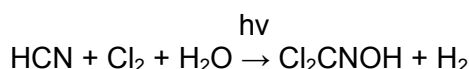
Complete combustion:



Incomplete combustion:



Both reactions are ongoing in parallel. Therefore, in combustion products of vinyl chloride, there are the products of complete and incomplete combustion, aggressive and toxic gases such as hydrogen cyanide (HCN), chlorine (Cl₂), carbon mono oxide (CO), carbon dioxide (CO₂), and hydrochloric acid (HCl). The reactions between these combustion products when there is not enough oxygen and in the presence of light lead to phosgene oxime formation (Cl₂CNOH).



Phosgene oxime also belongs to chemical weapon agents. It is stronger than phosgene, which is a blistering agent, a choking agent, and an irritant (Minier & Behrens, 1997).

In Pančevo, about 440 tons of vinyl chloride monomers (Savezno Ministarstvo za razvoj, nauku i životnu sredinu, 2000) were burned from the spherical reservoirs. Phosgene, a chemical warfare gas, is also a product of vinyl chloride monomers. The fire is shown in Figure 2.



Figure 2 – Fire on the spherical reservoirs of vinyl chloride monomer in Pancevo
Рис. 2 – Пожар в сферических резервуарах мономера винилхлорида в г.Панчево
Слика 2 – Пожар на сферним резервоарима мономера винил хлорида у Панчеву

A thick, black toxic cloud, containing the products of vinyl chloride burning, hovered over the city of Pancevo for three days. Windy weather pushed this cloud over the entire mid-Europe up to the Scandinavian

countries. Deliberately bombing of vinyl chloride tanks clearly confirms the intention of the aggressor to poison the human population of Serbia. Even though chemical warfare agents were not explicitly used, it can be said that putting tanks of vinyl chloride on fire can be considered as the use of chemical weapon agents.

Conclusion

Warheads of all kinds of projectiles used conventional explosives, mostly a mixture of trinitrotoluene (TNT) and hexogen. However, some other mixtures were used, like octogen and metriol trinitrate (MTN). To increase energy efficiency of these mixtures, different additives were used, like different plasticizers and oxygen rich inorganic ammonium salts. Ammonium perchlorate was mostly used. Ammonium nitrate was also used, but significantly less than perchlorate. Both compounds were applied as oxidizers rich in oxygen content. In order to increase energy efficiency of rocket propellants, fluorine-based compounds were mostly added. Therefore, besides their destruction effects, weapons used were releasing huge amounts of toxic and suffocating gases as products of combustion and detonation. The formed gaseous products of detonation contained carbon monoxide, carbon dioxide, nitrogen oxides, cyanocompounds, hydrogen, nitrogen, water in form of vapor, carbon in form of soot, and halogen radicals. These gaseous products of detonation in combination with the products of vinyl chloride fires had the effects of special chemical warfare carried out on the FR Yugoslavia in the year of 1999.

References

Anđelković-Lukić, M. 2006. Ecological aspect of pyralen application. *Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier*, 54(3), pp.348-353 (in Serbian). Available at: <https://doi.org/10.5937/vojtehg0603348A>.

Anđelković-Lukić, M. 2009. Synthesis and physicochemical properties of the HNIW (CL-20) explosive. *Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier*, 57(2), pp.86-93 (in Serbian). Available at: <https://doi.org/10.5937/vojtehg0902086A>.

Anđelković-Lukić, M. 2000. New high-explosive explosive - polycyclic nitramine hexanitrohexaazaisovurcitan (HNIW, CL-20). *Scientific Technical Review*, 50(6).

Anđelković-Lukić, M. 2015a. *Darovi milosrdnog anđela - Ekološko razmatranje rata NATO protiv SR Jugoslavije, 2. dopunjeno izdanje*. Novi Sad: Balkanija (in Serbian).

Anđelković-Lukić, M. 2015b. Chemical, Radiological and Environmental Impacts of NATO's War of Aggression against Yugoslavia. In: *19th Internacional Scientific Eco-Conference*, Novi Sad, Serbia, pp.39-50, 23-25 September.

Brousseau, P., & Anderson C.J. 2002. Nanometric Aluminum in Explosives. *Propellants, explosives, pyrotechnics*, 27(5), pp.300-306. Available at: [https://doi.org/10.1002/1521-4087\(200211\)27:5<300::AID-PREP300>3.0.CO;2-%23](https://doi.org/10.1002/1521-4087(200211)27:5<300::AID-PREP300>3.0.CO;2-%23).

Cai, W., Thakre, P., & Yang, W. 2008. A Model of AP/HTPB Composite Propellant Combustion in Rocket-Motor Environments. *Combustion Science and Technology*, 180(12), pp.2143–2169. Available at: <https://doi.org/10.1080/00102200802414915>.

Dobratz, B.M. 1981. *LLNL explosives handbook: properties of chemical explosives and explosives and explosive simulants*. United States.

Minier, L.M.G., & Behrens, R. 1997. Thermal decomposition mechanisms of bis(2-fluoro-2,2-dinitroethyl) formal (FEFO) and bis(2-fluoro-2,2-dinitroethyl) difluoroformal (DFF) from simultaneous thermogravimetric modulated beam mass spectrometry (STMBMS) measurements. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 22(1), pp.23-33. Available at: <https://doi.org/10.1002/prop.19970220107>.

-Savezno Ministarstvo za razvoj, nauku i životnu sredinu. 2000. *Posledice NATO bombardovanja na životnu sredinu SR Jugoslavije - Izveštaj*. Belgrade: Savezno Ministarstvo za razvoj, nauku i životnu sredinu (in Serbian).

Sundaram, D.S., Yang, V., & Zarko, V.E. 2015. Combustion of nano aluminum particles (Review). *Combustion, Explosion, and Shock Waves*, 51(2), pp.173-196. Available at: <https://doi.org/10.1134/S0010508215020045>.

Weidong, C., Piyush, T., & Vigor, Y. 2008. A model of AP/HTPB composite propellants combustion in rocket-motors environments. *Combustion Science and Technology*, 180(12), pp.2143–2169. Available at: <https://doi.org/10.1080/00102200802414915>.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ АДДИТИВЫ, ДОБАВЛЕННЫЕ В ЗАРЯД
КРЫЛАТЫХ РАКЕТ В ХОДЕ ВОЙНЫ ПРОТИВ СР ЮГОСЛАВИИ В
1999 ГОДУ

Мирьяна Н. Анђелкович-Лукич

Военно-технический институт, г. Белград, Республика Сербия

РУБРИКА ГРНТИ: 78.00.00 ВОЕННОЕ ДЕЛО;

78.25.12 Химическое, биологическое и зажигательное
оружие. Средства защиты от оружия
массового поражения

61.00.00 ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ. ХИМИЧЕСКАЯ
ПРОМЫШЛЕННОСТЬ;

61.01.94 Охрана окружающей среды

ВИД СТАТЬИ: оригинальная научная статья

ЯЗЫК СТАТЬИ: английский

Резюме:

Вследствие использования боеприпасов, содержащих различные добавки для увеличения их энергии (соединений галогенов, металлов и восков) после взрыва которых высвобождались чрезвычайно токсичные газообразные вещества, которые в сочетании с бомбардируемыми объектами имели последствия особой химической войны.

Ключевые слова: боеприпасы, энергетические добавки, химическая война.

ЕНЕРГЕТСКИ АДИТИВИ ДОДАВАНИ ЕКСПЛОЗИВНИМ ПУЊЕЊИМА РАКЕТА У АГРЕСИЈИ НА СР ЈУГОСЛАВИЈУ 1999. ГОДИНЕ

Мирјана Н. Анђелковић-Лукић

Војнотехнички институт, Београд, Република Србија

ОБЛАСТ: хемијске технологије

ВРСТА ЧЛАНКА: оригинални научни рад

ЈЕЗИК ЧЛАНКА: енглески

Сажетак:

Убојним средствима додавани су различити додаци, као што су халогена једињења, метали и воскови, како би се повећала њихова енергија. После детонације убојних средстава ослобађали су се изузетно отровни гасовити продукти који су, у садејству са бомбардованим објектима, имали ефекте специјалног хемијског рата.

Кључне речи: убојна средства, енергетски додаци, хемијски рат.

Paper received on / Дата получения работы / Датум пријема чланка: 16.07.2019.

Manuscript corrections submitted on / Дата получения исправленной версии работы / Датум достављања исправки рукописа: 01.08.2019.

Paper accepted for publishing on / Дата окончательного согласования работы / Датум коначног прихватања чланка за објављивање: 03.08.2019.

© 2019 The Author. Published by Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.упр.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/>).

© 2019 Автор. Опубликовано в «Военно-технический вестник / Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier» (www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.упр.срб). Данная статья в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией «Creative Commons» (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2019 Аутор. Објавио Војнотехнички гласник / Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.упр.срб). Ово је чланак отвореног приступа и дистрибуира се у складу са Creative Commons licencom (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).



OPTIMIZATION OF ARSENITE ADSORPTION ON HYDROXY APATITE BASED ADSORBENT USING THE ADAPTIVE NEURO-FUZZY INFERENCE SYSTEM

Zoran J. Bajić^a, Dragan S. Pamučar^b, Jovica Đ. Bogdanov^c, Mihael M. Bučko^d, Zlate S. Veličković^e

^a University of Defense in Belgrade, Military Academy, Department for Military Chemical Engineering, Belgrade, Republic of Serbia, **corresponding author**,

e-mail: angrist2@gmail.com,

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0002-8492-3333>

^b University of Defense in Belgrade, Military Academy, Department for Logistics, Belgrade, Republic of Serbia,

e-mail: dragan.pamucar@va.mod.gov.rs,

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0001-8522-1942>

^c University of Defense in Belgrade, Military Academy, Department for Military Chemical Engineering, Belgrade, Republic of Serbia,

e-mail: jovica.bogdanov@va.mod.gov.rs,

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0001-7995-3004>

^d University of Defense in Belgrade, Military Academy, Department for Military Chemical Engineering, Belgrade, Republic of Serbia,

e-mail: mbucko@gmail.com,

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0001-6992-8841>

^e University of Defense in Belgrade, Military Academy, Department for Military Chemical Engineering, Belgrade, Republic of Serbia,

e-mail: zlatevel@yahoo.com,

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0001-5335-074X>

DOI: 10.5937/vojtehg67-21519; <https://doi.org/10.5937/vojtehg67-21519>

FIELD: Environmental Protection, Chemical Engineering

ARTICLE TYPE: Original Scientific Paper

ARTICLE LANGUAGE: English

Abstract:

*This paper describes an optimization procedure for the adsorption of arsenite ions from wastewater using the Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS). The adsorbent is based on hydroxy apatite, a natural material obtained from carp (*Cyprinus carpio*) scales.*

ACKNOWLEDGMENT: The authors are grateful for the financial support from the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia, Project No. O1172057 and from the University of Defense, Republic of Serbia (VA-TT/2-17-19 and VA-TT/1-18-20).

The input parameters were the influence of pH, the temperature, the initial concentration and reaction time of arsenite adsorption while the adsorption capacity and the arsenite removal percentage were studied as the output parameters.

Key words: arsenite, adsorption, carp scales, hydroxy apatite, adsorbent, ANFIS.

Introduction

The Earth crust comprises 1.8 ppm of arsenic which is at the 55th place regarding its abundance. It can be mainly found in the following oxidation numbers: +1 (arsenide), 0, -3 (arsenite) and -5 (arsenate) (Järup, 2003), (Jovanović et al, 2011). As a metalloid, arsenic is not toxic but toxicity significantly changes depending on the oxidation number. Arsenite is the most toxic form of arsenic, followed by arsenate and then organic arsenide. Arsenic contamination is mainly a result of natural geothermal (volcanoes) and human activities. In nature, arsenic can be found in numerous oxide and hydroxide species in combination with different metal and nonmetal ions. Arsenic is used in the pesticide industry, wood industry, electronic industry and it comes as a byproduct of ore and metal smelting, etc. Arsenic poisoning leads to serious health problems, from skin irritation, respiratory and digestion problems to infertility, heart and immunity problems, DNA damage and cancer. It accumulates in the human body and with time leads to serious illnesses and death. Plants absorb arsenic easily, thus it efficiently enters the food chain (Veličković et al, 2016). The maximum allowable concentration of arsenic in drinking water is $10 \mu\text{g dm}^{-3}$ and the maximum concentrations of arsenic in wastewater discharged to the receiver must not exceed 0.1 mg dm^{-3} (WHO, 2016), (Dziubek, 2017).

Studies have shown that sediment and biological apatites have capability of heavy metal and radionuclide bonding in a way that adsorbed quantities are 106 times larger than their concentrations in the surrounding environment and the desorption does not occur up to billion years, not even during the change of pH values, temperature, chemical composition of the surroundings and tectonic changes (Nriagu, 1974), (Wright, 1990). Biological hydroxy apatites can easily bond ions but release them with great difficulty. The bonding process of different ions onto the structure of biological hydroxy apatites can be useful for living organisms (nontoxic concentrations of F, Cu, Mn, and Zn) or cause serious health disorders, especially to bones (Pb, Cd) (Iyengar &

Tandon, 1999). Mono, bi, tri, and tetravalent ions can be bound to apatites instead of calcium, phosphate or hydroxide ions.

Getting hydroxy apatite by chemical means is either complicated or environmentally unsafe (Nayak, 2010; Panda et al, 2014), so it is desirable to obtain it from natural sources, e.g. fish scales, fish scale hydroxy apatite - FSHAp (Chakraborty & RoyChowdhury, 2013), or animal bones (Lü et al, 2007; Luna-Zaragoza et al, 2009) which are otherwise considered as biowaste. The extraction of FSHAp from biowaste is economically and environmentally desirable because around 50% of total used fish mass ends up in waste, while 4% of that waste consists of fish scales (Kongsri et al, 2013), (Sukaimi et al, 2014). The idea of getting FSHAp from waste fish scale is investigated in numerous studies (Ferraz et al, 2004), (Nayak, 2010), (Catros et al, 2010), (Jadalannagari et al, 2011), (Ramli et al, 2011), (Sobczak-Kupiec & Wzorek, 2012), (Scalera et al, 2013), (Bajić et al, 2013). The potential of thus obtained FSHAp is significant, because annually between 18 and 30 million tons of fish scales appear as waste in the whole world (Huang et al, 2011); furthermore, its environmental and biological compatibility and nontoxicity should be taken into account. Numerous studies have shown that FSHAp has great properties as an adsorbent for the removal of heavy metal ions, anions and radionuclides from water due to its high value of adsorption capacity, insignificant water solubility, good availability, low cost and great stability in the presence of oxidation and reduction compounds (Kongsri et al, 2013). FSHAp has been confirmed as a good adsorbent of Pb, Zn, Co, Cd, As, Cu, Ni, Fe, Al, Se, Am, U, Pu, Tc, nitrate, sulfate, fluoride, carbonate and chloride ions (Ma et al, 1994a), (Ma et al, 1994b), (Xu et al, 1994), (Thomson et al, 2003), (Gómez del Río et al, 2004), (Corami et al, 2008), (Stötzel et al, 2009), (Dimović et al, 2009), (Islam et al, 2011), (Bajić et al, 2013).

In one study (Bajić et al, 2013), it has been presented that the adsorbent obtained from carp fish scales (CSHAp) has a great affinity to Cd(II), Pb(II) and As(V) ions. The paper shows that the aforementioned ions can be successfully removed from water for pH values between 6 and 8 and that the presence of interfering ions in water does not affect the adsorption process.

In this study, the biological apatite was obtained from the cycloid scales of freshwater fish carp (*Cyprinus carpio*) from the Ečka (Zrenjanin, Serbia) fish farm.

Adaptive neural networks (neuro-fuzzy networks) are based on unifying the concepts of fuzzy logic and artificial neural networks - theories that have already found their place at the top of the interest of

researchers in the field of artificial intelligence (Jang, 1991), (Jang, 1993), (Jang et al, 1997), (Abraham, 2005), (Tahmasebi, 2012). Using an input/output set, the Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) forms a fuzzy logic system in which the membership function parameters are created using a backpropagation algorithm or other algorithms such as genetic algorithms, simulated annealing algorithm, bee algorithm, etc. It is based on the so-called Takagi-Sugeno system. This approach allows the fuzzy system to learn from the data it is modeling (Takagi & Sugeno, 1985), (Mehran, 2008), (Pamučar et al, 2018), (Sremac et al, 2018).

The ANFIS was used in this study to evaluate the effects of four influencing variables (i.e. pH, temperature, initial concentration of adsorbate, and adsorption time) on the removal efficiency of arsenite ions on carp scales.

Experimental part

Materials

Fish scales were extracted from the farmed carp (*Cyprinus carpio*), grown in the Ečka fish farm. The scales were sonicated in a 5% solution of hydrogen peroxide and triple rinsed with deionized (DI) water and dried. The pure dried carp scales were ground. Adsorbents were prepared from the analytical-grade arsenite standard NaAsO_2 (Sigma-Aldrich). A stock solution containing 1000 mg dm^{-3} was prepared, and additionally diluted with DI water to the required ionic concentrations for the adsorption experiments.

Adsorption experiments

The arsenite adsorption capacities of CSHAp were determined in a batch reactor. The batch adsorption experiments were performed using 100 cm^3 vial with addition of 0.5 mg of ground carp scales and 100 cm^3 ($m/V = 5 \text{ mg dm}^{-3}$) of As(III) solution of the initial concentrations of (C_0) $0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 5$ and 10 mg dm^{-3} . The bottles were placed in an ultrasonic bath. In order to evaluate the effect of pH on adsorption, the initial pH values of the solutions were set at $2.0, 4.0, 6.0, 8.0$ and 10.0 by adjusting them with 0.01 and 0.1 mol dm^{-3} NaOH, and 0.01 and 0.1 mol dm^{-3} HNO_3 . The experiments were conducted at three temperatures: $20, 30$ and $40 \text{ }^\circ\text{C}$. The time-dependent adsorbate concentration changes were examined in the range of $5\text{--}120$ minutes. After sonication, the mixtures of adsorbent and ionic solutions were filtered through a $0.2 \text{ }\mu\text{m}$ PTFE membrane filter, acidified and analyzed. Adsorption experiments were conducted in a batch system under ultrasonic stirring. The

ultrasonic bath (Bandelin Electronic, Berlin, Germany, power 80 and 120 W, frequency 35 kHz) was thermostated by circulating water through the jacket.

The arsenite concentrations in the solutions before and after the adsorption were analyzed by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS), using an Agilent 7500ce ICP-MS system (Waldbronn, Germany) equipped with an octopole collision/reaction cell, Agilent 7500 ICP-MS ChemStation software, a MicroMist nebulizer and a Peltier cooled (2.0 °C) quartz Scott-type double pass spray chamber. The standard optimization procedures and criteria specified in the manufacturer's manual were followed. The ICP-MS detection limit was 0.030 $\mu\text{g dm}^{-3}$ and the relative standard deviation of all arsenic species investigated was between 1.3 and 5.1 %.

The maximum adsorption capacity has been achieved at pH = 4, $C_0 = 10 \text{ mol dm}^{-3}$, $T = 40 \text{ °C}$ and $t = 60 \text{ min}$ and the maximum percentage of arsenite removal has been achieved at pH = 4, $C_0 = 0.1 \text{ mol dm}^{-3}$, $T = 40 \text{ °C}$ and $t = 60 \text{ min}$, as it can be seen from Table 4.

ANFIS setup

The ANFIS method is used to examine the possibility of modeling and the prediction of As(III) adsorption on CSHAp. The input variables of the fuzzy logic system (FLS) are the initial adsorbate concentration (X_1), the pH value of the solution (X_2), the adsorption temperature (X_3) and the adsorption time (X_4). Along with the four input variables, the FLS has two output variables: the adsorption capacity (Y_1) and the adsorbate removal percentage (Y_2). The intervals of the input and output FLS variables are given in Table 1.

Table 1 – Intervals of the input and output FLS variables
Таблица 1 – Интервалы входных и выходных переменных системы нечеткой логики

Табела 1 – Интервали улазних и излазних променљивих ФЛС-а

Variable	Interval	Unit
X_1	[0.1, 10]	mg dm^{-3}
X_2	[2, 10]	-
X_3	[20, 40]	$^{\circ}\text{C}$
X_4	[5, 120]	min
Y_1	[0.92, 24.5]	mg g^{-1}
Y_2	[2.34, 95.0]	%

The coefficient weights of the input FLS variables are determined using the DEMATEL method (Pamučar et al, 2014) and the manner of

their influence on the adsorption capacity, q , and the percentage of adsorbate removal, R , is given in Table 2.

Table 2 – Weights of the input FLS variables and their influence on the output variables
Таблица 2 – Веса входных переменных системы нечеткой логики и их влияние на выходные переменные
Табела 2 – Тежински коефицијенти улазних променљивих ФЛС-а и њихов утицај на излазне променљиве

Variable	Weight	Interval group			Influence on q	Influence on R
		a	b	c		
X_1	0.1903	0.1-0.5	0.5-2.0	2.0-10.0	Increase-increase	Increase-decrease
X_2	0.2169	2.0-4.0	4.0-6.0	6.0-10.0	Increase towards b, to others decrease	
X_3	0.2441	20-25	25-35	35-40	Increase-increase	Increase-increase
X_4	0.3487	5.0-45	45-90	90-120	Sharp increase to b, then mild increase	

Results and discussion

The Gauss membership functions (GMFs) are used for the description of the input FLS variables. The GMFs (Table 3) are selected because of the following benefits: they are easy to manipulate with when setting the FLS, the description of the input variables is quite acceptable, they ensure a satisfactory system sensitivity and provide the smallest error at the exit from the ANFIS model. Starting from the above assumptions, it is defined that each input variable has four membership functions (MFs) while the output variables (Y_1 and Y_2) are described with eight MFs. The parameters of the MFs for the input variables before the ANFIS training are presented in Table 3.

The initial FLS testing was performed after the parameters of the input/output variables and the base of the rules had been defined. It was observed that the system had not yielded satisfactory results in relation to the FLS output data and the desired set of solutions. The difference between the expected results and the value of the output criterion function was not within the limits of tolerance. Attempting to change the type and parameters of the membership functions at the exit in order to obtain satisfactory values did not give the expected results. Table 4 shows the experimentally determined output values based on a set of input parameters, that is, the results of 29 experiments for the adsorption of As(III) on CSHAp.

Table 3 – Parameters of the membership functions before the ANFIS training
 Таблица 3 – Параметры функций членства перед обучением ANFIS
 Табела 3 – Параметри функција припадности пре обучавања ANFIS

X_1	MF 1	MF 2
	$\mu_{MF1}(X_1) = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-0.519}{1.75}\right)^2}$	$\mu_{MF2}(X_1) = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-4.238}{1.813}\right)^2}$
	MF 3	MF 4
	$\mu_{MF3}(X_1) = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-6.99}{1.659}\right)^2}$	$\mu_{MF4}(X_1) = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-8.555}{1.542}\right)^2}$
X_2	MF 1	MF 2
	$\mu_{MF1}(X_2) = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-2.656}{0.9078}\right)^2}$	$\mu_{MF2}(X_2) = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-5.24}{0.9421}\right)^2}$
	MF 3	MF 4
	$\mu_{MF3}(X_2) = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-7.336}{1.791}\right)^2}$	$\mu_{MF4}(X_2) = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-8.392}{1.465}\right)^2}$
X_3	MF 1	MF 2
	$\mu_{MF1}(X_3) = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-23.7}{3.44}\right)^2}$	$\mu_{MF2}(X_3) = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-26.67}{2.832}\right)^2}$
	MF 3	MF 4
	$\mu_{MF3}(X_3) = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-30.96}{2.36}\right)^2}$	$\mu_{MF4}(X_3) = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-37}{4.06}\right)^2}$
X_4	MF 1	MF 2
	$\mu_{MF1}(X_4) = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-22.36}{14.84}\right)^2}$	$\mu_{MF2}(X_4) = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-43.3}{12.82}\right)^2}$
	MF 3	MF 4
	$\mu_{MF3}(X_4) = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-73.15}{16.33}\right)^2}$	$\mu_{MF4}(X_4) = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-111.5}{19.52}\right)^2}$

Table 4 – Results of 29 experiments for the adsorption of arsenite on CSHAp
 Таблица 4 – Результаты 29 экспериментов по адсорбции арсенита на CSHAp
 Табела 4 – Резултати 29 експеримената за адсорпцију арсенита на CSHAp

X_1	X_2	X_3	X_4	q	R
0.50	4.00	20.00	5.00	1.60	32.00
0.50	4.00	20.00	10.00	2.50	50.00
0.50	4.00	20.00	15.00	3.20	64.00
0.50	4.00	20.00	30.00	3.69	73.80
0.50	4.00	20.00	45.00	4.16	83.20
0.50	4.00	20.00	60.00	4.22	84.40
0.50	4.00	20.00	120.00	4.20	84.00
0.10	4.00	40.00	60.00	0.95	95.00
0.20	4.00	40.00	60.00	1.82	91.00
0.50	4.00	40.00	60.00	4.29	85.80
1.00	4.00	40.00	60.00	8.02	80.20
2.00	4.00	40.00	60.00	15.20	76.00
5.00	4.00	40.00	60.00	17.60	35.20
10.00	4.00	40.00	60.00	24.50	24.50
5.00	2.00	30.00	60.00	16.40	32.80
5.00	4.00	30.00	60.00	21.20	42.40
5.00	6.00	30.00	60.00	18.50	37.00
5.00	8.00	30.00	60.00	6.32	12.60
5.00	10.00	30.00	60.00	1.17	2.34
0.10	4.00	20.00	60.00	0.92	92.00
0.20	4.00	20.00	60.00	1.78	89.00
0.50	4.00	20.00	60.00	4.22	84.40
1.00	4.00	20.00	60.00	7.87	78.70
2.00	4.00	20.00	60.00	14.32	71.60
5.00	4.00	20.00	60.00	15.90	31.80
10.00	4.00	20.00	60.00	16.50	16.50
10.00	2.00	30.00	30.00	12.30	12.30
10.00	4.00	30.00	30.00	17.40	17.40
10.00	6.00	30.00	30.00	8.75	8.75

An analysis of the obtained data at the FLS output yielded an average error of 8.371. In addition to a relatively high error, the FLS for some values of the input parameters was overly sensitive, while for some values it was insufficiently sensitive. Figure 1 presents a set of the FLS output values, i.e. a scenario describing the system's response for individual input values. The plane surfaces (plateaus) represent the places where the FLS is inert for the input parameter values, while the steep sections represent the values of the input parameters for which the FLS is too sensitive. An attempt to reduce the output error and improve

the sensitivity of the FLS by correcting the base of the rules and changing the parameters of the MF did not yield the expected results. Because of this, the transformation of the FLS into the ANFIS was performed (Figure 1).

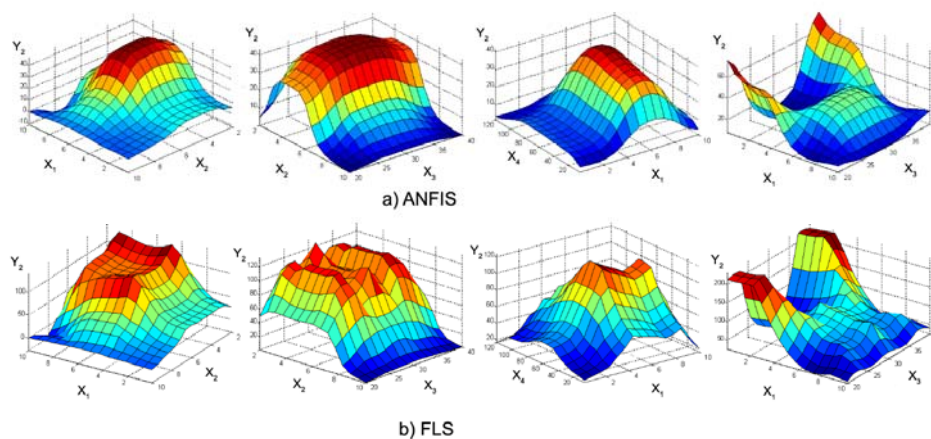


Figure 1 – ANFIS (a) and FLS (b) output
 Рус. 1 – ANFIS (а) и FLS (б) выход
 Слика 1 – ANFIS (а) и FLS (б) излаз

The ANFIS has been trained for 4 epochs. In the training process, the MF of the initial FLS was set up, in order to reduce the error at the exit. In this study, a backpropagation algorithm was used for the ANFIS training. In the initial phase of the ANFIS training, in addition to the backpropagation algorithm, the simulated annealing algorithm and the hybrid algorithm were also tested (Dreiseitl & Ohno-Machado, 2002), (Pamučar et al, 2018), (Sremac et al, 2018). However, during the testing, a model that was trained with the backpropagation algorithm had a smaller error compared to other tested models.

The backpropagation algorithm calculates the error recursively (it performs a square error taking into account the output functions of each of the nodes of the network), starting from the output layer and going back to the input layer. By training a neural network with numerical examples, the initial MF forms are adapted. If there is a difference between the obtained and the expected data, modifications are made on the links between the neurons in order to reduce the error, i.e. the MFs in

the adaptive nodes are being adjusted. Table 5 shows the parameters of the ANFIS membership functions after training.

Table 5 – Parameters of the membership functions after the ANFIS training
Таблица 5 – Параметри функција припадности после обучавања ANFIS
Табела 5 – Параметри функција припадности после обучавања ANFIS

X_1	MF 1	MF 2
	$\mu_{MF1}(X_1) = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-0.02895}{2.652}\right)^2}$	$\mu_{MF2}(X_1) = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-2.57}{1.915}\right)^2}$
X_1	MF 3	MF 4
	$\mu_{MF3}(X_1) = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-7.818}{1.783}\right)^2}$	$\mu_{MF4}(X_1) = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-10.05}{1.659}\right)^2}$
X_2	MF 1	MF 2
	$\mu_{MF1}(X_2) = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-2.118}{1.218}\right)^2}$	$\mu_{MF2}(X_2) = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-5.065}{1.229}\right)^2}$
X_2	MF 3	MF 4
	$\mu_{MF3}(X_2) = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-7.3}{0.8546}\right)^2}$	$\mu_{MF4}(X_2) = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-9.963}{1.184}\right)^2}$
X_3	MF 1	MF 2
	$\mu_{MF1}(X_3) = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-22.91}{2.83}\right)^2}$	$\mu_{MF2}(X_3) = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-26.15}{3.449}\right)^2}$
X_3	MF 3	MF 4
	$\mu_{MF3}(X_3) = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-34.69}{3.738}\right)^2}$	$\mu_{MF4}(X_3) = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-40}{2.831}\right)^2}$
X_4	MF 1	MF 2
	$\mu_{MF1}(X_4) = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-4.974}{16.28}\right)^2}$	$\mu_{MF2}(X_4) = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-41.47}{16.34}\right)^2}$
X_4	MF 3	MF 4
	$\mu_{MF3}(X_4) = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-81.7}{16.12}\right)^2}$	$\mu_{MF4}(X_4) = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-120}{16.28}\right)^2}$

After the completion of 4 training epochs and the reduction of the average relative error to a value of 0.4830 and 0.6867 for q and R , respectively, it was concluded that the error is acceptable. Figure 2 graphically depicts the overlap of the ANFIS results with the experimental

data. In addition, the conclusion is that the neuro-fuzzy network is trained and able to generalize new input data for which it is not trained.

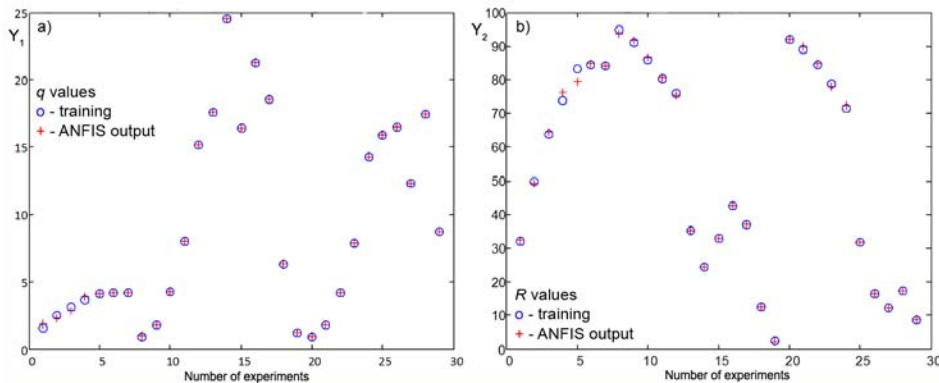


Figure 2 – Comparison of the ANFIS and the experimental data for q (a) and R (b)

Рис. 2 – Сравнение ANFIS и экспериментальных данных q (a) и R (b)

Слика 2 – Поређење резултата ANFIS са експерименталним резултатима за q (a) и R (b)

The data analysis was conducted using Marquardt's percent standard deviation (MPSD); Hybrid fractional error function (HYBRID); Average relative error (ARE); Average relative standard error (ARS); Sum squares error (ERRSQ/SSE); Normalized standard deviation (NSD); Standard deviation of relative errors (s_{RE}); Spearman's correlation coefficient (r_s); Non-linear chi-square test (χ^2), and Coefficient of determination (R^2) (Bajić et al, 2016). The errors for four trainings for the calculated output variables q and R are given in Tables 6 and 7.

Table 6 – Errors for four ANFIS training sets for the variable q

Таблица 6 – Ошибки в четырех этапах обучения ANFIS по переменной q

Табела 6 – Грешке за четири обуке ANFIS за променљиву q

Error functions	training 1	training 2	training 3	training 4
MPSD	231.4	148.9	82.83	4.447
HYBRID	739.0	315.0	112.2	0.4108
ARE	128.4	84.48	51.22	0.4830
ARS	2.187	1.407	0.7827	0.04202
ERRSQ	502.5	236.2	104.6	0.2395
NSD	218.7	140.7	78.27	4.202
s_{RE}	126.7	83.22	50.27	1.476
r_s	0.9779	0.9896	0.9954	0.9999
χ^2	0.004215	0.4081	0.9815	1
R^2	0.9658	0.9841	0.9907	0.9998

Table 7 – Errors for four ANFIS training sets for the variable R
 Таблица 7 – Ошибки в четырех этапах обучения ANFIS
 по переменной R
 Табела 7 – Грешке за четири обуке ANFIS за променљиву R

Error functions	training 1	training 2	training 3	training 4
MPSD	10.77	6.810	3.802	1.338
HYBRID	39.00	18.74	6.764	1.414
ARE	5.363	2.232	1.580	0.6867
ARS	0.1018	0.06435	0.03592	0.01264
ERRSQ	452.4	213.1	91.07	28.39
NSD	10.18	6.435	3.592	1.264
SRE	4.404	2.725	1.679	0.8721
r_s	0.9801	0.9906	0.9960	0.9988
χ^2	0.9998	1	1	1
R^2	0.9832	0.9921	0.9963	0.9989

By analyzing the errors for four trainings and for the calculated output variables q and R given in Tables 6 and 7, it can be concluded that after the fourth training a significant error reduction has been achieved, which is especially expressed for the parameter q .

Conclusion

This paper shows the successful use of the ANFIS for the optimization procedure of the adsorption process of arsenite ions on carp scale hydroxy apatite adsorbent. It was found that the optimal conditions for the arsenite ions removal were as follows: $C_0 = 3.9 \text{ mg g}^{-1}$, $\text{pH} = 4.2$, $T = 40 \text{ }^\circ\text{C}$, and $t = 60 \text{ min}$. Only four training epochs have managed to reduce the errors and to predict the output values in a reasonably good manner. The implementation of the backpropagation training algorithm to the proposed model improved the quality of the generated appropriate fuzzy if-then rules to describe the input-output behavior of the adsorption system. The ANFIS method can, therefore, be applied to predict these and other output parameters of the adsorption process, which contributes to reducing the future number of experiments required to investigate the adsorption process. Also, the presented method can be applied to real water samples contaminated with arsenite ions.

References

Abraham, A. 2005. Adaptation of Fuzzy Inference System Using Neural Learning. In: *N. Nedjah & L. de Macedo Mourelle Eds., Fuzzy Systems Engineering: Theory and Practice, Studies in Fuzziness and Soft Computing 181*. Germany: Springer Verlag, pp.53–83.

Bajić, Z.J., Djokić, V.R., Veličković, Z.S., Vuruna, M.M., Ristić, M.D., Issa, B.N., & Marinković, A.D. 2013. Equilibrium, Kinetic and Thermodynamic Studies on Removal of Cd(II), Pb(II) and As(V) from Wastewater Using Carp (*Cyprinus Carpio*) Scales. *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, 8(4), pp.1581-1590. Available at: http://www.chalcogen.ro/1581_Bajic.pdf [Accessed: 21 April 2019].

Bajić, Z.J., Veličković, Z.S., Djokić, V.R., Perić-Grujić, A.A., Ovidiu, E., Uskoković, P.S., & Marinković, A.D. 2016. Adsorption study of Arsenic removal by novel hybrid copper impregnated Tufa adsorbents in a batch system. *CLEAN Air Water Soil*, 44(11), pp.1477-1488. Available at: <https://doi.org/10.1002/clen.201500765>.

Catros, S., Guillemot, F., Lebraud, E., Chanseau, C., Perez, S., Bareille, R., & Fricain, J.C. 2010. Physico-chemical and biological properties of a nano-hydroxyapatite powder synthesized at room temperature. *Irbm*, 31(4), pp.226-233. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.irbm.2010.04.002>.

Chakraborty, R., & RoyChowdhury, D. 2013. Fish bone derived natural hydroxyapatite-supported copper acid catalyst: Taguchi optimization of semibatch oleic acid esterification. *Chemical engineering journal*, 215-2016, pp.491-499. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2012.11.064>.

Corami, A., Mignardi, S., & Ferrini, V. 2008. Cadmium removal from single- and multimetal (Cd + Pb + Zn + Cu) solutions by sorption on hydroxyapatite. *J. Colloid Interface Sci*, 317(2), pp.402-408. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2007.09.075>.

Dimović, S., Smičiklas, I., Plečaš, I., Antonović, D., & Mitrić, M. 2009. Comparative study of differently treated animal bones for Co²⁺ removal. *J. Hazard. Mater*, 164(1), pp.279-287. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.08.013>.

Dreiseitl, S., & Ohno-Machado, L. 2002. Logistic regression and artificial neural network classification models: a methodology review. *Journal of biomedical informatics*, 35(5-6), pp.352-359. Available at: [https://doi.org/10.1016/S1532-0464\(03\)00034-0](https://doi.org/10.1016/S1532-0464(03)00034-0).

Dziubek, J. 2017. Arsenic removal from industrial wastewater. In: *9th Conference on Interdisciplinary Problems in Environmental Protection and Engineering EKO-DOK 2017*, 17. Available at: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20171700020>.

Ferraz, M.P., Monteiro, F.J., & Manuel, C.M. 2004. Hydroxyapatite nanoparticles: A review of preparation methodologies. *Journal of Applied Biomaterials and Biomechanics*, . 2(2), pp.74-80. Available at: <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/228080000400200202> [Accessed: 21 April 2019].

Gómez del Río, J.A., Morando, P.J., & Cicerone, D.S. 2004. Natural materials for treatment of industrial effluents: Comparative study of the retention of Cd, Zn and Co by calcite and hydroxyapatite. Part I: Batch experiments. *J. Environ. Manage.*, 71(2), pp.169-177. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2004.02.004>.

Huang, Y.C., Hsiao, P.C., & Chai, H.J. 2011. Hydroxyapatite extracted from fish scale: Effects on MG63 osteoblast-like cells. *Ceramics International*, 37(6), pp.1825-1831. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2011.01.018>.

Islam, M., Mishra, P.C., & Patel, R. 2011. Arsenate removal from aqueous solution by cellulose-carbonated hydroxyapatite nanocomposites. *J. Hazard. Mater.*, 189(3), pp.755-763. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.03.051>.

Iyengar, G.V., & Tandon, L. 1999. *Minor and trace elements in human bones and teeth*. Vienna: International Atomic Energy Agency. Available at: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/31/029/31029996.pdf?r=1&r=1 [Accessed: 21 April 2019].

Jadalannagari, S., More, S., Kowshik, M., & Ramanan, S.R. 2011. Low temperature synthesis of hydroxyapatite nano-rods by a modified sol-gel technique. *Materials Science and Engineering: C*, 31(7), pp.1534-1538. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.msec.2011.07.001>.

Jang, J.S.R. 1993. ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 23(3), pp.665-685. Available at: <https://doi.org/10.1109/21.256541>.

Jang, J.S.R. 1991. Fuzzy Modeling Using Generalized Neural Networks and Kalman Filter Algorithm. In *Proceedings of the 9th National Conference on Artificial Intelligence*. Anaheim, CA, USA, pp.762-767. July 14-19.

Jang, J.S.R., Sun, C.T., & Mizutani, E. 1997. *Neuro-Fuzzy and Soft Computing*. NJ, USA: Prentice Hall.

Järup, L. 2003. Hazards of heavy metal contamination. *British Medical Bulletin*, 68(1), pp.167-182. Available at: <https://doi.org/10.1093/bmb/ldg032>.

Jovanović, B., Ljubisavljević, D., & Rajaković. 2011. Uklanjanje arsena iz vode adsorpcijom na nekonvencionalnim materijalima. *Vodoprivreda*, 43(4-6), pp.127-150, in Serbian. Available at: <http://www.vodoprivreda.net/uklanjanje-arsena-iz-vode-adsorpcijom-na-nekonvencionalnim-materijalima> [Accessed: 21 April 2019].

Kongsri, S., Janpradit, K., Buapa, K., Techawongstien, S., & Chanthai, S. 2013. Nanocrystalline hydroxyapatite from fish scale waste: Preparation, characterization and application for selenium adsorption in aqueous solution. *Chemical engineering journal*, 215-216, pp.522-532. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2012.11.054>.

Luna-Zaragoza, D., Romero-Guzmán, E.T., & Reyes-Gutiérrez, L.R. 2009. Surface and physicochemical characterization of phosphates vivianite, $\text{Fe}_2(\text{PO}_4)_3$ and hydroxyapatite, $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 8(8), pp.591-609. Available at: <https://doi.org/10.4236/jmmce.2009.88052>.

Lü.X.Y., Fan, Y.B., Gu, D., & Cui, W. 2007. Preparation and characterization of natural hydroxyapatite from animal hard tissues. *Key Engineering Materials*, 342-343, pp.213-216. Available at: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.342-343.213>

Ma, Q.Y., Logan, T.J., Traina, S.J., & Ryan, J.A. 1994a. Effects of aqueous Al, Cd, Cu, Fe(II), Ni, and Zn on Pb immobilization by hydroxyapatite. *Environ. Sci. Technol*, 28(7), pp.1219-1228. Available at: <https://doi.org/10.1021/es00056a007>.

Ma, Q.Y., Logan, T.J., & Traina, S.J. 1994b. Effects of NO_3^- , Cl^- , F^- , SO_4^{2-} , and CO_3^{2-} on Pb^{2+} immobilization by hydroxyapatite. *Environ. Sci. Technol*, 28(3), pp.408-418. Available at: <https://doi.org/10.1021/es00052a011>.

Mehran, K. 2008. Takagi-Sugeno fuzzy modeling for process control. In *Industrial Automation, Robotics and Artificial Intelligence (EEE8005)*. Newcastle University-School of Electrical, Electronic and Computer Engineering.

Nayak, A.K. 2010. Hydroxyapatite synthesis methodologies: An overview. *International Journal of ChemTech Research*, 2(2), pp.903-907. Available at: [http://sphinxesai.com/s_v2_n2/CT_V.2No.2/ChemTech_Vol_2No.2_pdf/CT=24%20\(903-907\).pdf](http://sphinxesai.com/s_v2_n2/CT_V.2No.2/ChemTech_Vol_2No.2_pdf/CT=24%20(903-907).pdf) [Accessed: 21 April 2019].

Pamučar, D., & Ćirović, G. 2018. Vehicle route selection with an adaptive neuro fuzzy inference system in uncertainty conditions. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 1(1), pp.13-37. Available at: <https://www.dmame.org/index.php/dmame/article/view/1/1> [Accessed: 21 April 2019].

Pamučar, D., Vasin, Lj., & Lukovac, V. 2014. Selection of railway level crossings for investing in security equipment using hybrid DEMATEL-MARICA model. In *XVI International Scientific-expert Conference on Railway RAILCON 2014*, Niš, Serbia, pp.89-92. October 09-10.

Panda, N.N., Pramanik, K., & Sukla, L.B. 2014. Extraction and characterization of biocompatible hydroxyapatite from fresh water fish scales for tissue engineering scaffold. *Bioprocess and biosystems engineering*, . 37(3), pp.433-440. Available at: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00449-013-1009-0> [Accessed: 21 April 2019].

Ramli, R.A., Adnan, R., Bakar, M.A., & Masudi, S.A.M. 2011. Synthesis and characterisation of pure nanoporous hydroxyapatite. *J. Phys. Sci*, 22(1), pp.20-37 Available at: <https://pdfs.semanticscholar.org/09bb/06858eb697b1df4a43f62351b67edb5b3246.pdf> [Accessed: 21 April 2019].

Scalera, F., Gervaso, F., Sanosh, K.P., Sannino, A., & Licciulli, A. 2013. Influence of the calcination temperature on morphological and mechanical properties of highly porous hydroxyapatite scaffolds. *Ceramics International*, 39(5), pp.4839-4846. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2012.11.076>.

Sobczak-Kupiec, A., & Wzorek, Z. 2012. The influence of calcination parameters on free calcium oxide content in natural hydroxyapatite. *Ceramics International*, 38(1), pp.641-647. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2011.06.065>.

Sremac, S., Tanackov, I., Kojić, M., & Radović, D. 2018. ANFIS model for determining the economic order quantity. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 1(2), pp.81-92. Available at: <https://www.dmame.org/index.php/dmame/article/view/13/15> [Accessed: 21 April 2019].

Stötzl, C., Müller, F.A., Reinert, F., Niederdraenk, F., Barralet, J.E., & Gbureck, U. 2009. Ion adsorption behaviour of hydroxyapatite with different crystallinities. *Colloid Surf. B: Biointerfaces*, 74(1), pp.91-95. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2009.06.031>.

Sukaimi, J., Hamzah, S., Ghazali, M., & Sabri, M. 2014. Green Synthesis and Characterization of Hydroxyapatite from Fish Scale Biowaste. *Applied Mechanics and Materials*, 695, pp.235-238. Available at: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.695.235>.

Tahmasebi, P. 2012. A hybrid neural networks-fuzzy logic-genetic algorithm for grade estimation. *Computers and Geosciences*, 42, pp.18-27. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2012.02.004>.

Takagi, T., & Sugeno, M. 1985. Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, SMC-15 (1), pp.116-132. Available at: <https://doi.org/10.1109/TSMC.1985.6313399>.

Thomson, B.M., Smith, C.L., Busch, R.D., Siegel, M.D., & Baldwin, C. 2003. Removal of metals and radionuclides using apatite and other natural sorbents. *J. Environ. Eng.*, 129(6), pp.492-499.

Veličković, Z., Ivanković, N., Striković, V., Karkalić, R., Jovanović, D., Bajić, Z., & Bogdanov, J. 2016. Investigation of soil properties influence on the heavy metals sorption by plants and possibilities for prediction of their bioaccumulation by response surface methodology. *J. Serb. Chem. Soc.*, 81(8), pp.1-14. Available at: <https://www.shd-pub.org.rs/index.php/JSCS/article/view/1823/310> [Accessed: 21 April 2019].

Xu, Y., Schwartz, F.W., & Traina, S.J. 1994. Sorption of Zn²⁺ and Cd²⁺ on hydroxyapatite surfaces. *Environ. Sci. Technol.*, 28, pp.1472-1480. Available at: <https://doi.org/10.1021/es00057a015>.

ОПТИМИЗАЦИЈА АДСОРБЦИЈЕ АРСЕНИТА НА АДСОРБЕНТЕ
ГИДРОКСИАПАТИТА С ИСПОЛЗОВАНИЕМ АДАПТИВНОЙ
НЕЙРО-НЕЧЕТКОЙ ИНФЕРЕНЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Зоран Ђ. Баич, **корреспондент**^а, Драган С. Памучар^б,
Јовица. Ђ. Богданов^а, Михаел М. Бучко^а, Злате С. Величковић^а

^а Универзитет одбране у Београду, Војна академија, Катедра
војнохемијског инжењерства, Београд, Република Србија

^б Универзитет одбране у Београду, Војна академија,
Департамент логистике, Београд, Република Србија

РУБРИКА ГРНТИ: 61.01.94 Охрана околине,
61.13.21 Хемичке процесе

ВИД СТАЊИ: оригинална научна ствља

ЈЗЫК СТАЊИ: енглески

Резюме:

*В данној ствљи описана процедура оптимизације адсорпције ионов
арсенита из сточних вода с исползованием адаптивној нейро-
нечеткој логическој ствљи (ANFIS). В основе адсорбента
лежит природни гидроксипатитни материјал, полученни из
чешуи карпа (Сурпинус карпио). В качестве параметров ввода
исползовались влияние рН, температуры, начальной
концентрации и времени реакции на адсорпцию арсенита, а в
качестве выходных параметров были исследованы адсорбционная
емкость и процент удаления арсенита.*

*Кључеве слова: арсенит, адсорпција, чешуја карпа,
гидроксипатитни адсорбент, ANFIS.*

ОПТИМИЗАЦИЈА АДСОРПЦИЈЕ АРСЕНИТА НА АДСОРБЕНТ НА
БАЗИ ХИДРОКСИАПАТИТА КОРИШЋЕЊЕМ АДАПТИВНОГ
НЕУРО-ФАЗИ СИСТЕМА

Зоран Ј. Бајић, **аутор за преписку**^а, Драган С. Памучар^б,
Јовица. Ђ. Богданов^а, Михаел М. Бучко^а, Злате С. Величковић^а

^а Универзитет одбране у Београду, Војна академија, Катедра
војнохемијског инжењерства, Београд, Република Србија

^б Универзитет одбране у Београду, Војна академија, Катедра логистике,
Београд, Република Србија

ОБЛАСТ: заштита животне средине, хемијско инжењерство

ВРСТА ЧЛАНКА: оригинални научни рад

ЈЕЗИК ЧЛАНКА: енглески

Сажетак:

*У раду се описује поступак оптимизације адсорпције арсеничних
јона из отпадних вода коришћењем адаптивног неуро-фази
система (ANFIS). У основи адсорбента налази се природни*

хидрокси-апатитни материјал добијен из крљушти шарана (Syrpinus carpio). Као улазни параметри коришћени су утицај рН, температуре, почетне концентрације и времена адсорпције арсенита, а као излазни параметри испитивани су адсорпциони капацитет и проценат уклањања арсенита.

Кључне речи: арсенит, адсорпција, крљушт шарана, хидрокси-апатит, адсорбент, ANFIS.

Paper received on / Дата получения работы / Датум пријема чланка: 01.05.2019.
Manuscript corrections submitted on / Дата получения исправленной версии работы /
Датум достављања исправки рукописа: 23.07.2019.
Paper accepted for publishing on / Дата окончательного согласования работы / Датум
коначног прихватања чланка за објављивање: 25.07.2019.

© 2019 The Authors. Published by Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier
(www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.упр.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/>).


© 2019 Авторы. Опубликовано в «Военно-технический вестник / Vojnotehnički glasnik / Military
Technical Courier» (www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.упр.срб). Данная статья в открытом доступе и
распространяется в соответствии с лицензией «Creative Commons»
(<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2019 Аутори. Објавио Војнотехнички гласник / Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier
(www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.упр.срб). Ово је чланак отвореног приступа и дистрибуира се у
складу са Creative Commons лиценцом (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).



USING AFFINITY FOR TARGET GENERATION IN A FIREARMS TRAINING SIMULATOR

Vadim L. Khaikov

independent researcher, Krasnodar, Russian Federation,
e-mail: wadimhaikow@inbox.ru,
ORCID iD:  <http://orcid.org/0000-0003-1433-3562>

DOI: 10.5937/vojtehg67-22745; <https://doi.org/10.5937/vojtehg67-22745>

FIELD: Applied Mathematics

ARTICLE TYPE: Original Scientific Paper

ARTICLE LANGUAGE: English

Abstract:

The paper proposes a conversion of plane shooting targets using two-dimensional affine transformations. It is assumed that affine transformations will be useful for target generation in firearms training simulators (FATS). The structure and the matrix formation algorithm of target vertex matrices are described as well as transformation matrices and output matrices. Vertex matrices were formed for twelve plane shooting targets. Transformation matrices 3×3 in size were used for conversions. Mathematical modelling and computer simulation of software-configurable plane shooting targets for FATS were performed in the Mathcad v.15 software.

Key words: shooting target, firearms training simulator, affine transformation, transformation matrix, Mathcad.

Introduction

A firearms training simulator (FATS) is a compound of hardware and software that creates augmented reality which can be used to improve shooting skills and rationalize behavior in such situations. Less often, a FATS is named a digital target range. The following shooting skills can be sharpened using a FATS: targets detection and classification; determination of a «shooter-target» distance; determination of target movement parameters; aiming and shooting; assessment of undershoot and overshoot parameters, and quick threat response. Along with a detailed description of an image transformation process in computer graphics systems (Rogers & Adams, 1976), (Vince, 2012), (Hughes et al, 2013), a process of generating a software-configurable target of interest for a FATS is not described in scientific literature. Therefore, eliminating such a gap and explaining this procedure from a point of view of

mathematics is a needful objective. A computer simulation of software-configurable plane shooting targets for a FATS is performed in the Mathcad v.15 computer algebra system.

Virtual landscape with targets

A pistol (or a rifle) with a laser cartridge, a computer, one or more projectors and screens, specialized software, and a trained shooter are the basic elements of a FATS. A computer, a projector, a projector screen, and necessary software provide visualization of a virtual landscape (panorama) (Fig. 1). An important part of this panorama is a software-configurable shooting target which may be static or dynamic. The meaning of the term «virtual landscape with targets» should also be further clarified.



Figure 1 – Virtual landscape with SGTs: a – with known «shooter-target» distance¹, and b – with unknown distance

Рис. 1 – Панорамы с программно-генерированными мишенями:
а – с известным расстоянием и б – с неизвестным расстоянием

Слика 1 – Виртуелни пејзаж с компјутерски генерисаним метама: а – када је позната раздаљина између стрелца и мете, и б – када раздаљина није позната

A virtual landscape is usually characterized by a large depth of the visibility and a wide viewing angle (Fig. 1). Technically, it can be created by several LCD projectors. Unlike common shooting targets, made of paper, cardboard or metal plates, software-generated targets (SGTs) are part of a virtual landscape. We can say that, physically, they are a part of

¹ Fragment of a virtual lanscape (panorama) of a digital target range at the firearms training simulator in the Kunsan Air Base (Gunsan, the Republic of Korea) (Source: https://en.wikipedia.org/wiki/Shooting_target#/media/File:A_digital_target_range_at_the_firearms_training_simulator_on_Kunsan_Air_Base_waits_to_be_used.jpg)

a screen at which a shooter aims and shoots during shooting practice and owing to which shooting performance effectiveness is analyzed. SGTs are generated by the program, visualized using a computer and displayed onto an LCD projector screen. Specialized FATS software should be able to visualize different types of SGTs and change their position in a virtual landscape.

For example, in Fig. 1a, four identical torso targets are placed side by side, their order is deterministic and the «shooter-target» distance is known in advance. Fig. 1b presents four targets: three chest targets and one man-sized, arranged randomly and the «shooter-target» distance is not known in advance.

Since the dimensions of the same target change while increasing/decreasing the «shooter-target» distance, the controlled scaling of the target can create a visual illusion that a target is closer to or farther from a certain landmark. It should be added that a controlled change of a target's position can create an illusion of its movement. Thus, a computer program controls an influence on target geometry in order to create necessary visual illusions for a shooter.

From the point of view of planimetry, a SGT is a polygon, i.e. a geometrical figure bounded by a closed polygonal chain whose line segments do not intersect. Properties of a SGT as a planar geometric object are identified in (Khaikov, 2019a), (Khaikov, 2019b).

Affine transformation is a type of plane transformation, in which a straight line translates into a straight line, and parallel straight lines into parallel ones. Two-dimensional affine transformations are a class of mathematical transformations basic to modelling geometrical objects in the two-dimensional Cartesian coordinate system. Affine transformations of a target can be expressed by an analytical expression (by a formula). 2D affine transformation is carried out using matrix multiplication. The transformation matrix is multiplied by the target vertex matrix. As a result, we obtain the output matrix.

$$TM \times ATVM = OM,$$

where

TM – a transformation matrix,
 ATVM – an augmented target vertex matrix (TVM) and
 OM – an output matrix.

Further on, each of these matrices is described in more detail.

Target vertex matrices

A sequence of a target's vertices is their enumerated collection in which repetitions are not allowed. A TVM is a two-dimensional array that encodes a sequence of a target's vertices in the Cartesian coordinate system. The coordinates of twelve (Soviet/Russian and Swiss) targets are given in Tables 1-3. All dimensions in these tables are given in centimeters. The top (first) row of the TVM contains the coordinates of the abscissa (x) and the second row – corresponding ordinates (y) of each target's vertex. In this way, the coordinates of each vertex are written as a column vector (2×1 submatrix). The vertices of polygons are listed in all cases counterclockwise. The first and third tables contain the data about ten frontal-attacking targets and the second table – about two flank-attacking targets. The rectangular arrays of numbers given in Tables 1-3 must be converted to the matrices of the appropriate size.

*Table 1 – Coordinates of the vertices for the Soviet/Russian shooting targets
Таблица 1 – Координаты вершин силуэтов советских/российских стрелковых мишеней
Табела 1 – Координате врхова совјетских/руских мета за гађање*

No.	Types of FRATs ²	Number of target vertices	Coordinates of target vertices in the Cartesian coordinate system									
1	Head target	6	4.5	18.5	23	23	0	0	0	0	0	0
			0	0	12	30	30	12				
2	Head & shoulders target	8	0	50	50	36.5	36.5	13.5	13.5	0	0	
			0	0	12	12	30	30	12	12		
3	Chest target	8	0	50	50	36.5	36.5	13.5	13.5	0	0	
			0	0	32	32	50	50	32	32		
4	Torso target	8	0	50	50	36.5	36.5	13.5	13.5	0	0	
			0	0	82	82	100	100	82	82		
5	Man-sized target	10	12.5	37.5	50	50	37.5	37.5	12.5	12.5	0	0
			0	0	50	132	132	150	150	132	132	50

Note: Target silhouettes are visualized in (Khaikov, 2019a, p.273)

² FRAT stands for a frontal-attacking shooting target

Table 2 – Coordinates of the Swiss shooting targets
Таблица 2 – Координаты вершин силуэтов швейцарских стрелковых мишеней
Табела 2 – Координате швајцарских мета за гађање

No.	Types of FRATs	Number of target vertices	Coordinates of target vertices in the Cartesian coordinate system							
1	Head target	6	3.5	16.5	20	20	0	0		
			0	0	13	33	33	13		
2	Head & shoulders target	8	0	45	45	32.5	32.5	12.5	12.5	0
			0	0	8	13	33	33	13	8
3	Chest target	8	0	45	45	32.5	32.5	12.5	12.5	0
			0	0	30	35	55	55	35	30
4	Torso target	8	0	45	45	32.5	32.5	12.5	12.5	0
			0	0	75	80	100	100	80	75
5	Man-sized target	14	7.5	37.5	37.5	40	45	45	32.5	...
			0	0	50	65	65	140	145	...
			...	32.5	12.5	12.5	0	0	5	7.5
			...	165	165	145	140	65	65	50

Note: Target silhouettes are visualized in (Khaikov, 2019a, p.273)

Table 3 – Coordinates of the Soviet/Russian shooting (flank-attacking) targets
Таблица 3 – Координаты советских/российских стрелковых (флангово-атакующих) мишеней
Табела 3 – Координате совјетских/руских (бочних) мета за гађање

No.	Types of FLATs ³	Number of target vertices	Coordinates of target vertices in the Cartesian coordinate system								
1	Torso target	9	9.4	50	50	33	33	10	10	15	0
			0	0	75	82	100	100	75	75	55
2	Man-sized target	10	18	38	50	50	33	...			
			0	0	50	125	132	...			
			...	33	10	10	15	0			
			...	150	150	125	125	105			

Note: Target silhouettes are visualized in (Khaikov, 2019b, p.527)

³ FLAT stands for a flank-attacking shooting target

To get an augmented TVM, we need to do three steps. To speed up the calculations, we will use the Mathcad software.

Step 1. A TVM is a two-dimensional array that encodes a sequence of a target's vertices in the Cartesian coordinate system. Each row of a TVM contains the coordinates of the abscissa (x) and the ordinate (y) of a target's vertex (initial TVM). A size of a TVM is $2 \times n$, where n – total number of a target's vertices.

Step 2. The closure effect for a target's perimeter is realized by adding the first (initial) vertex to the right side of the final vertex. The vertices are traversed counterclockwise. To implement step 2, we must perform:

- set the ORIGIN variable ORIGIN := 0
- first target's vertex FV := submatrix(TVM,0,1,0,0)
- obtain a closed TVM CM := augment(TVM, FV).

A size of a matrix with the closure effect is $2 \times (n+1)$.

Step 3. The augmented matrix is obtained by adding the third row of the ones with a size ($1 \times (n+1)$). To implement step 3, we must perform:

- vector with numbers of vertices $i := 0..n$
- matrix of ones (G) $G_i := 1$
- the transpose of the G matrix G^T
- an array formed by placing CM, G^T top to bottom is the augmented TVM $stack(CM, G^T)$

Now the size of the augmented TVM is $3 \times (n+1)$.

The functions «submatrix», «augment», «stack» and «origin» are built-in functions / variables of the Mathcad software (Maxfield, 2009).

Sets of TVMs can form libraries of shooting targets. Using the described principle, libraries of British (Clark, 2006), (Ministry of Defense of the UK, 2015), North American (Ministry of Defense of the USA, 2000), German (Ministry of Defense of the GDR, 1984), Polish (Ministry of Defense of the PPR, 1977), Soviet/Russian (Tarchishnikov, 2011), and other targets can be created.

Affine transformation matrices

Two-dimensional affine transformation matrices are used to apply linear transformation. Let us define simple affine transformation matrices that carry out only translation (shifting), scaling, shearing (skew), rotation and reflection. All enumerated matrices have a size of 3×3 .

Simple 2D affine transformation matrices. Consideration of simple affine transformation matrices will begin with the operations of multiplication by the identity matrix, translating (shifting), and scaling. The description is accompanied by figures (Figs. 2-4) which show the type of

the transformation matrix and its impact on the chest target. The initial target is shown in yellow. The target after affine transformation is blue.

Multiplication of the initial shape and the identity matrix does not change the initial target (Fig. 2a). The submatrix (2×2) highlighted by the dotted line contains the basic elements of the transformation matrix.

The value of X in the translate matrix produces a shift of an initial shape along the 0-x axis and the value of Y determines the shift along the 0-y axis (Fig. 2b).

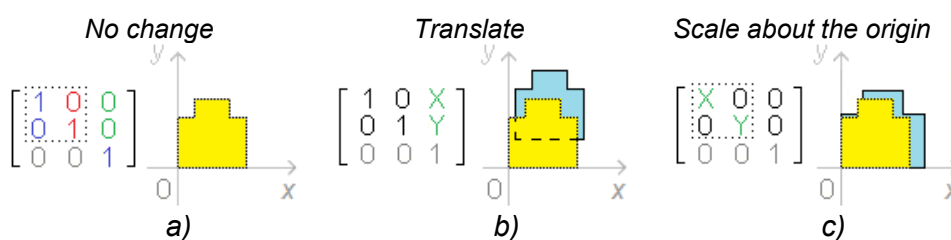


Figure 2 – Transformation matrices and the results of their impact on the chest target:
a – unit matrix; b – translation; c – nonuniform scaling

Рис. 2 – Матрицы трансформации и результаты воздействия на грудную мишень: а – единичная мишень; б – перенос; с – масштабирование

Слика 2 – Трансформационе матрице и резултати њиховог утицаја на грудну мету: а – јединична матрица; б – транслација; в – неуниформно скалирање

Two-dimensional affine transformation can differentially scale a target (Fig. 2c). X is a scale factor for the 0-x direction. Y is a scale factor for the 0-y direction. If X, Y is greater than zero, then a target will be increased, if less than zero, then it will be reduced. If X = Y, then uniform scaling takes place, but if X ≠ Y, this is a non-uniform (differential) scaling.

Rotation of a target in two dimensions around the origin is carried out due to the rotation transformation matrix (Fig. 3a). Rotation is implemented at the angle θ . If the angle θ is greater than zero, then the rotation takes place clockwise relative to the axis 0-y, if less than zero, then it is counterclockwise. If the angle θ is 0, then the transformation matrix turns into a unit matrix. Horizontal shear (or shear parallel to the 0-x axis) is displacement of every point horizontally due to the horizontal shearing matrix (Fig. 3b). The slope of the vertical lines depends on the angle φ . If the angle φ is 0, then the shear transformation matrix turns into a unit matrix. Vertical shear (or shear parallel to the 0-y axis) is displacement of every point horizontally due to the horizontal shearing

matrix (Fig. 3c). The slope of the horizontal lines depends on the angle ψ . If the angle ψ is 0, then the shear transformation matrix turns into a unit matrix.

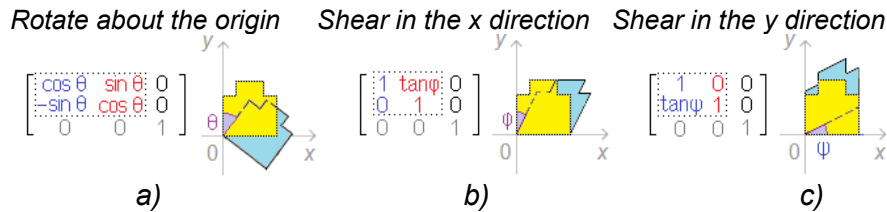


Figure 3 – Transformation matrices and the results of their impact on the chest target: a – rotation; b – horizontal shearing; c –vertical shearing

Рис. 3 – Матрицы трансформации и результаты воздействия на грудную мишень: а – вращение; б – горизонтальный сдвиг; с – вертикальный сдвиг
Слика 3 – Трансформационе матрице и резултати њиховог утицаја на грудну мету: а – ротација; б – смицање по x-оси; в – смицање по y-оси

If it is necessary to create a reflection target image, it is possible to multiply the reflection matrix with the target vertex matrices. The most spread reflection matrices are: reflection about the origin (Fig. 4a); reflection about the 0-x axis (Fig. 4b), and reflection about the 0-y axis (Fig. 4c).

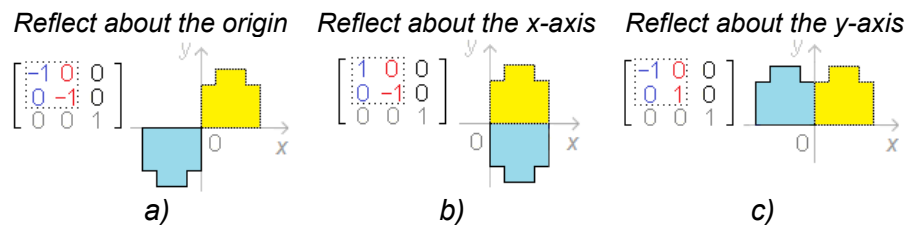


Figure 4 – Three types of reflection transformation matrices and the results of their impact on the chest target

Рис. 4 – Три типа матриц преобразования отражений и результаты их воздействия на грудную мишень
Слика 4 – Три врсте трансформационих матрица рефлексије и резултати њиховог утицаја на грудну мету

A 2×2 linear transformation matrix allows scaling, rotation, shearing, and reflection. A 3×3 linear transformation matrix provides translation. For the purpose of unification, the size of the transformation matrix is reduced to (3×3) .

2D composite affine transformation matrices. In contrast to the previously considered simple transformation matrices, composite matrices produce several elementary transformations simultaneously.

For example, if we need to translate, scale and rotate using only one matrix, we must first multiply them:

$$CATM = TrM \times ScM \times RoM ,$$

where

CATM – a composite affine transformation matrix,

TrM – a translating transformation matrix,

ScM – a scale transformation matrix and

RoM – a rotating transformation matrix.

As a result, we get

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & X \\ 0 & 1 & Y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} X_s & 0 & 0 \\ 0 & Y_s & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos(\alpha) & \sin(\alpha) & 0 \\ -\sin(\alpha) & \cos(\alpha) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_s \cos(\alpha) & X_s \sin(\alpha) & X \\ -Y_s \sin(\alpha) & Y_s \cos(\alpha) & Y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Transforming a target shape using composite transformation matrices is not different from a corresponding transformation using simple transformation matrices. Like the previously selected one, a transformation matrix (simple or composite) must be multiplied by an ATVM.

Output matrices

The output matrix contains the coordinates of the vertices of the transformed matrix. This matrix has a size of $3 \times (n+1)$, where n – total number of a target's vertices in the target which is taken as initial.

To obtain the TVM, in the first step, we need to separate, from the output matrix, the third row containing only ones. The resulting matrix will have a size of $2 \times (n+1)$. Next, we separate the last column of this matrix, as it repeats the first. This matrix will have a size of $2 \times n$. This is the desired matrix in which the first row contains the abscissas of the vertices, while the second row contains their ordinates.

Target design in Mathcad

After the creation of a library of targets (Tables 1-3) and transformation matrices and after the unification of their sizes, a simple

simulation of two-dimensional affine transformation becomes possible. Let us give three examples of implementing affine transformation with targets of various types.

Example 1. We will perform uniform scaling. As the initial target, we take the Swiss chest target (Table 3 (No.3)). In order to increase the size of the target (Fig. 5a), we assign the scale factor $s = 2$. The matrix multiplication process is presented below:

$$\begin{pmatrix} 2 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0 & 45 & 45 & 32.5 & 32.5 & 12.5 & 12.5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 30 & 35 & 55 & 55 & 35 & 30 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}^T = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 90 & 0 & 1 \\ 90 & 60 & 1 \\ 65 & 70 & 1 \\ 65 & 110 & 1 \\ 25 & 110 & 1 \\ 25 & 70 & 1 \\ 0 & 60 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix},$$

where, the first (3×3) matrix – transformation matrix for uniform scaling; the second (3×9) matrix – the augment target vertices matrix; and the third (9×3) matrix – the output.

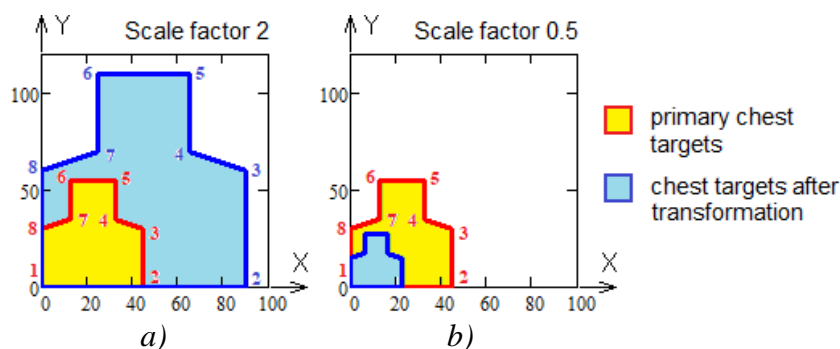


Figure 5 – Process of uniform scaling of the chest target using different values of s
 Рис. 5 – Процесс масштабирования мишени с использованием разных значений s
 Слика 5 – Поступак униформног скалирања грудне мете коришћењем различитих вредности s

To reduce the size of the chest target, select the parameter = 0.5. The visualization of the results is shown in Figs. 5a and 5b.

The perimeter of the initial matrix is colored in red. The perimeter of the transformed matrix is given in blue. Since the vertices of the matrices

are numbered, we can see the directions of their movement during transformation. This kind of scaling can be used to calculate dry firing targets (Egloff, nd).

Example 2 – translating (shifting) of the Soviet/Russian FLAT (torso target, Table 4 (No.1)) with the shifting parameters: X = 60, Y = 50. The matrix multiplication procedure is shown below:

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 60 \\ 0 & 1 & 50 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 9.4 & 50 & 50 & 33 & 33 & 10 & 10 & 15 & 0 & 9.4 \\ 0 & 0 & 75 & 82 & 100 & 100 & 75 & 75 & 55 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}^T = \begin{pmatrix} 69.4 & 50 & 1 \\ 110 & 50 & 1 \\ 110 & 125 & 1 \\ 93 & 132 & 1 \\ 93 & 150 & 1 \\ 70 & 150 & 1 \\ 70 & 125 & 1 \\ 75 & 125 & 1 \\ 60 & 105 & 1 \\ 69.4 & 50 & 1 \end{pmatrix}$$

X Y

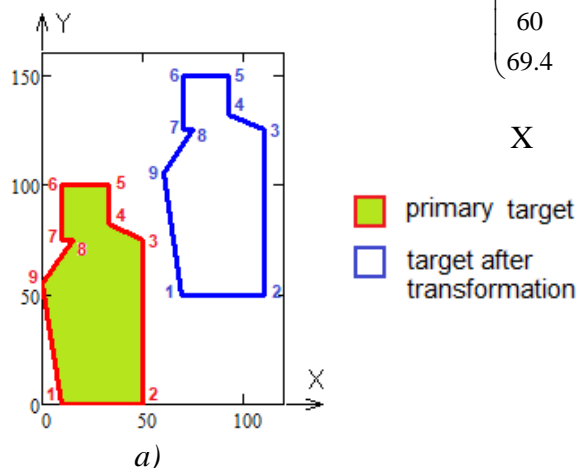


Figure 6 – Target translating (shifting) process with different values of X and Y
Рис. 6 – Процесс сдвигания мишени с использованием разных значений X и Y
Слика 6 – Поступак трансляције мете с различитим вредностима X и Y

A graphical representation of the displacement is shown in Fig. 6a. The red border is the initial matrix and the blue border is the output matrix. Since the vertices of the matrices are numbered, we can see the parallelism of vertices movement.

Both in the first and second examples, the abscissas (X) of the vertices are collected in the first column of the output matrix, and their ordinates (Y) in the second column.

Using translating (shifting), we can simulate the (right-left) movement of a target.

Example 3. It is an illustration of how matrix rotation is carried out in Mathcad. We used the Soviet/Russian head target (Table 1 (No.1)) for rotation. The rotation parameter (angle alpha) is a discrete variable with eight values: $\alpha = 0, \pi/4, \pi/2, 3\pi/4, \pi, 5\pi/4, 3\pi/2,$ and $7\pi/4$. The result of rotation is shown in Fig. 7. Increasing the angle value from 0 to $7\pi/4$ gives the head target rotation clockwise relative to the origin.

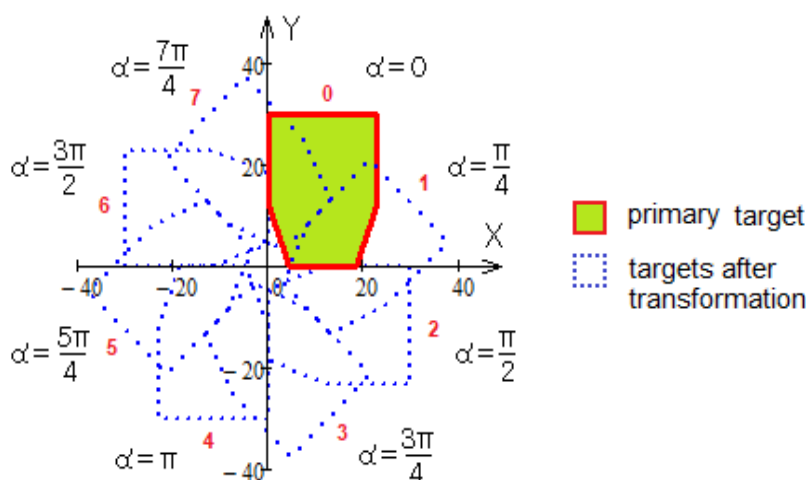


Figure 7 – Target rotating process using eight different angles

Рис. 7 – Процесс вращения мишени с использованием восьми углов поворота
Слика 7 – Поступак ротације мете коришћењем осам различитих углова

Swinging pendulum targets can be simulated using rotation.

Conclusions

Conversion of plane shooting targets is proposed using two-dimensional affine transformations. A target library consisting of 12 shooting targets is proposed in this article. It is assumed that this type of conversion will be useful for specialized FATS software, where software-configurable target generation is necessary. The matrices accompanying all stages of the conversion are described in detail: a target forming matrix, transformation matrices, and an output matrix. Mathematical modelling and computer simulation of software-configurable plane shooting targets for a FATS are performed in the Mathcad v.15 software.

References

Clark, D. 2006. *British targets from the mid 19th century to date: a shot history illustrating examples of rifle targets*. Avalon Associates.

Egloff, M. *Making dry firing targets*. Available at: <http://thecmp.org/making-dry-firing-targets/> [Accessed: 01 Juny 2019].

Hughes, J.F., Dam, A. Van, McGuire, M. et al. 2013. *Computer Graphics: principles and practice*. Addison-Wesley.

Khaikov, V.L. 2019a. Analysis of two groups of plane infantry targets as sets of geometric primitives. *Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier*, 67(2), pp.270-287. Available at: <https://doi.org/10.5937/vojtehg67-20258>.

Khaikov, V.L. 2019b. Analysis and synthesis of silhouettes of frontal- and flank-attacking shooting targets using graphs. *Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier*, 67(3), pp.525-537. Available at: <https://doi.org/10.5937/vojtehg67-21754>.

Maxfield, B. 2009. *Essential Mathcad for Engineering, Science and Math*. Academic Press.

-Ministry of Defense of the GDR. 1984. *Zieldarstellung K 310/3/002*. Berlin: NVA Landstreitkrafte (in German).

-Ministry of Defense of the PPR. 1977. *Album Tarcz i figur bojowych*. Warszawa: Wydawnictwo Ministerstwa Obrony Narodowej (in Polish).

-Ministry of Defence UK. 2015. *Handbook of defence ranges safety (JSP 403). Volume 2. Chapter 29. Targetry*. Available at: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/138247/JSP403_Vol2_Chap29_DLRSC.pdf

-Ministry of Defence USA. 2000. *Army field manual: tank gunnery training devices and usage strategies (FM 17-12-7). Chapter 10. Targets and Target Mechanisms*. Available at: <https://www.globalsecurity.org/military/library/policy/army/fm/17-12-7/ch10.htm>

Rogers, D.F., & Adams, J.A. 1976. *Matemtical elements for computer graphics*. McGraw-Hill Publishing Company.

Tarchishnikov, A.A. 2011. *Kurs strel'ba*. Minsk: Belorusskiy natsional'nyy tekhnicheskij universitet (in Russian). (In the original: Тарчишников, А.А. 2011. *Курс стрельб*. Минск: Белорусский национальный технический университет). Available at: <https://rep.bntu.by/handle/data/960> [Accessed: 01 Juny 2019]

Vince, J. 2012. *Matrix transforms for computer games and animation*. Springer.

ПРИМЕНЕНИЕ АФФИННОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ
ГЕНЕРАЦИИ СТРЕЛКОВЫХ МИШЕНЕЙ В СТРЕЛКОВОМ
ТРЕНАЖЁРЕ-ИМИТАТОРЕ

Вадим Л. Хайков

независимый исследователь, г. Краснодар, Российская Федерация

РУБРИКИ: 78.21.00 Военно-прикладные науки;
78.21.47 Баллистика. Теория стрельбы

ВИД СТАТЬИ: оригинальная научная статья

ЯЗЫК СТАТЬИ: английский

Резюме:

Для трансформации плоскостных стрелковых мишеней предложено использовать аффинные преобразования. Предполагается, что этот тип трансформации полезен при программной генерации мишеней в специализированном программном обеспечении тренажера, обучающего стрельбе из огнестрельного оружия. В статье приведено подробное описание матриц, сопровождающих этапы трансформации: от матрицы формирования контура стрелковой мишени, матрицы аффинного преобразования, до результирующей матрицы. Математическое и компьютерное моделирование программно-конфигурируемой мишени для стрелкового тренажера выполнено в программном обеспечении Mathcad v.15.

Ключевые слова: стрелковая мишень, стрелковый тренажер-имитатор, аффинное преобразование, матрица преобразования, Mathcad.

КОРИШЋЕЊЕ АФИНЕ ТРАНСФОРМАЦИЈА ЗА ГЕНЕРИСАЊЕ
МЕТА У СИМУЛАТОРУ ЗА ОБУКУ У РУКОВАЊУ ВАТРЕНИМ
ОРУЖЈЕМ

Вадим Л. Хајков

независни истраживач, Краснодар, Руска Федерација

ОБЛАСТ: примењена математика

ВРСТА ЧЛАНКА: оригинални научни рад

ЈЕЗИК ЧЛАНКА: енглески

Сажетак:

За гађање помоћу дводимензионалних афине трансформација у раду је предложена конверзија дводимензионалних мета. Пошло се од претпоставке да ће афине трансформације бити корисне за генерисање мета у симулаторима за обуку у руковању ватреним оружјем (FATS). За матрице врхова мета описани су структура и алгоритам формирања матрица,

трансформационе матрице. као и матрице излаза. Матрице врхова формиране су за дванаест дводимензионалних мета за гађање. За конверзију су коришћене трансформационе матрице формата 3x3. За математичко моделирање и компјутерску симулацију софтверски генерисаних дводимензионалних мета за гађање за FATS коришћен је софтвер Mathcad v. 15.

Кључне речи: мета за гађање, симулатор за обуку у руковању ватреним оружјем, афине трансформација, трансформациона матрица, Mathcad.

Paper received on / Дата получения работы / Датум пријема чланка: 05.08.2019.
Manuscript corrections submitted on / Дата получения исправленной версии работы /
Датум достављања исправки рукописа: 19.08.2019.
Paper accepted for publishing on / Дата окончательного согласования работы / Датум
коначног прихватања чланка за објављивање: 21.08.2019.

© 2019 The Author. Published by Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier
(www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.упр.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/>).

© 2019 Автор. Опубликовано в «Военно-технический вестник / Vojnotehnički glasnik / Military
Technical Courier» (www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.упр.срб). Данная статья в открытом доступе и
распространяется в соответствии с лицензией «Creative Commons»
(<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2019 Аутор. Објавио Војнотехнички гласник / Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier
(www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.упр.срб). Ово је чланак отвореног приступа и дистрибуира се у
складу са Creative Commons лиценцом (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).



MODELING THE MOVEMENT OF A MISSILE IN THE TUBULAR GUIDE OF THE STARTING INSTALLATION

Oleksandr M. Shyiko^a, Anatoly M. Pavlyuchenko^b,
Olexii A. Obukhov^c, Igor V. Kopyk^d

^a National Agricultural University, Sumy, Ukraine, **corresponding author**,
e-mail: shyikoa@ukr.net,

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0002-4297-911X>

^b National Agricultural University, Sumy, Ukraine,
e-mail: apavluenko22@gmail.com,

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-0827-2847>

^c Research Center of Rocket Forces and Artillery, Sumy, Ukraine,
e-mail: obukhov.olexii@gmail.com,

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-0846-2288>

^d State University, Sumy, Ukraine,
e-mail: igor.kopl@gmail.com,

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-2217-731X>

DOI: 10.5937/vojtehg67-22681; <https://doi.org/10.5937/vojtehg67-22681>

FIELD: Mechanics, Artillery and Rocket Weapons

ARTICLE TYPE: Original scientific paper

ARTICLE LANGUAGE: English

Summary:

The paper presents computational and mathematical model of the spatial motion of a rocket with centering bulges and a pin on the body in a thin-walled tubular guide mounted on two fixed supports and equipped with a screw groove. The models take into account the interaction of the projectile with the inner surface of the guide tube at the locations of the drive pin and the centering bulge. The strength of the normal reaction of the inner surface of the guide is found as a reaction to the elastic deformation of the pipe caused by normal to its inner surface displacements of the centering thickening at the point of contact with the guide. In this case, the tubular guide is considered as an elastic thin-walled shell. To calculate the values of the shell stiffness coefficient along its length, the finite element method implemented in the ANSYS Mechanical software package is used. The translational component of the projectile motion is investigated on the basis of the theorem on the motion of the center of mass. The rotational component is investigated on the basis of the Lagrange equations of the second kind. The generalized parameters of the rotational motion are the yaw Ψ and pitch θ angles, the angle of attack α , the angle of slip β , and the angle of rotation of the projectile around the longitudinal axis φ . The aerodynamic angle of heel γ_a is found from the transition formulas for the adopted coordinate systems.

The yaw velocity angle Ψ , the pitch velocity angle θ , and the aerodynamic roll angle γ_a as well as the first time derivatives of these angles are converted into the yaw angles ψ and pitch u of the projectile axis and their derivatives in the starting coordinate system.

Keywords: missile launcher, movable launcher, elastic model, launching tube, spatial portion of movement, interaction forces, angles of vectors, center of mass velocities, projectile axis angles.

Introduction

The creation of computational and mathematical models of the movement of a missile in a launcher tubular guide (Fig. 1) precedes a physical model. In most works, the projectile is considered to be a smooth solid, which, when moving in a guide, tracks the angular movements of the chassis and package of guides (Svetlickij, 1986), (Somoia et al, 2007, pp.95-97), (Antunevich et al, 2017, pp.207-208), (Dziopa et al, 2010, pp.645-646), (Dziopa et al, 2015, pp.71-72). In fact, the physical model of the movement of the projectile inside the tubular guide is much more complicated. While moving, the projectile body rests on the inner surface of the guide pipe centering thickenings. After the penultimate centering, the bulge extends beyond the muzzle cut, the projectile moves into the guide tube, resting on the inner surface of the tube with the leading edge of the last centering bulge. The formation of absolute angles of departure and angular velocities of departure due to the relative rotation of the guide in the pipe and the movement of the pipe itself during the flight in the pipe and their determination for the moment of the descent of the missile from the launch guide constitute the essence and the problem of angular initial disturbances of the missile trajectories.

To solve the mission of a missile at launch from a launcher in design models of projectile motion in a launcher, the same parameters defining the position of the projectile should be used as in calculating the flight trajectory. Such parameters (Fig. 2) can be the coordinates and the velocity of the center of mass of the projectile, yaw velocity angles Ψ , pitch θ , determining the direction of the velocity vector of the center of mass, the angle of attack α and the slip β , determining the position of the axis of the projectile relative to the velocity vector of the center of mass, the aerodynamic angle γ_a roll, the yaw angles ψ and the pitch u of the projectile axis (Svetlickij, 1986), (Raducanu et al, 2009, pp.1459-1460).



Figure 1 – Mobile launcher RSZO BM-21
 Рис. 1 – Мобильная пусковая установка РСЗО БМ-21
 Слика 1 – Самоходни вишецевни бацач ракета РСЗО БМ-21

In modern designs of launchers, for giving the projectile rotation, the tubular guide is provided with a screw groove, and a leading pin is placed on the body of the projectile. The disadvantage of the above and many other design models is that they do not take into account the impact on the movement of the projectile and the launcher interaction of the projectile and the guide launcher in a pair of pin-groove.

When determining the estimated area of dispersion of a series of missiles launched from a mobile launcher, it is necessary to determine, for each calculated elevation angle of the guideline, a reference or a baseline trajectory obtained by simulating the launch of the projectile from the central position of the guide package with its static equilibrium and no fluctuations of the launcher. This condition leads to a computational model of launching a projectile from a single tubular guide rigidly connected to the base. Such a model can also be used to determine calculated tabular corrections for changes in the ballistic and meteorological conditions of the launch.

Unlike traditional methods for calculating the interaction force between a projectile and a tubular guide using differentiated coupling equations (Svetlickij, 1986), (Somoiaq et al, 2007, pp.95-97), (Shyiko, 2014, pp.47-51), the normal reaction force of the inner surface of a guide pipe can be viewed as a reaction to the elastic deformation of the pipe caused by projectile support points normal to the inner surface of the pipe. at the point of contact with the guide (Bogomolov, 2003, pp.207-208). Such a computational model of the dynamic response of the tubular guide allows us to directly associate the resulting reaction with the

translational and rotational components of the displacement of the projectile relative to the guide tube, which greatly simplifies the calculation of this force in the numerical integration of the equations of motion.

Purpose of the research

The purpose of the research was to develop computational and mathematical model of the spatial motion of a rocket with centering piles and a leading pin on the body in an elastic thin-walled tubular guide fixed on rigidly fixed base supports and equipped with a screw groove that take into account the interaction of the projectile with the inner surface of the guide rail at the locations of the leading pin and centering projectile thickening. The aim was also to calculate the values of angles and angular velocities of the projectile when departing from the guide, using the characteristics of the elastic properties of the guide.

Presentation of the main material

We consider the movement of a jet projectile with centering bulges in a pliable elastic tubular guide which has an inclined helical groove for the driving pin on the projectile body, and we obtain the differential equations of the projectile motion after the exit of the penultimate centering bulge from the guide tube. To do this, we introduce the necessary coordinate systems and angles that determine their mutual positions (Fig. 2):

- an immovable coordinate system $C'x_n y_n z_n$ permanently connected with the guide, the origin of which is in the initial position of the projectile center of mass, and the axis x_n of which coincides with the longitudinal axis of the guide tube – the launch coordinate system,
- a fixed coordinate system $C'xyz$, the origin of which is in the initial position of the projectile center of mass - the starting coordinate system,
- the trajectory coordinate system CTNB with the beginning in the projectile center of mass, the axis T of which coincides with the velocity vector of the center of mass,
- the velocity coordinate system $Cx_a y_a z_a$ with the origin at the center of mass, the y_a axis of which coincides with the velocity vector of the center of mass, and
- the semi-connected coordinate system $C\zeta\xi\eta$, which is always connected with the projectile, does not participate in the projectile rotation around the longitudinal axis and the beginning of which is in the

projectile center of mass, and the axis ζ coincides with the projectile longitudinal axis.

The forces acting on the projectile (Fig. 2) are: the reactive force $\vec{P}(t)$, the force of gravity \vec{mg} , the normal reaction \vec{R} of the pipe surface at the reference point "A", the friction force \vec{F}_T at the reference point associated with the movement of the projectile along the guide and equal to $f \cdot R$, where f is the coefficient of friction between the surface of the projectile and the surface of the tubular guide, the normal reaction of the screw groove $\vec{N}(t)$, and the friction force between the drive pin and the side surface of the screw groove, equal to $\mu \cdot N$, where μ is the coefficient of friction between the drive pin and the side surface of the screw groove. Since the projectile has a forced rotation by means of a screw groove and a pin, the circumferential tangential friction force \vec{F}_{Tl} between the body of the projectile and the guide is added to the acting forces.

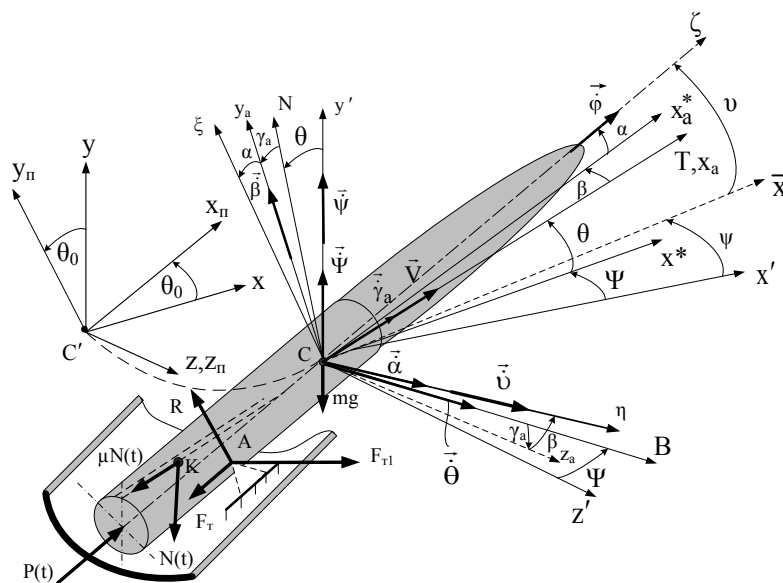


Figure 2 – Coordinate systems and angles that determine their mutual positions on the site of the spatial movement of the projectile in a tubular guide

Рис. 2 – Системы координат и углы, определяющие их взаимное положение на участке пространственного движения снаряда в трубчатой направляющей
 Слика 2 – Координатни системи и углови који одређују њихов међусобни положај на месту просторног кретања пројектила у лансирној цеви

The tubular guide is a thin-walled structure that provides the necessary rigidity and strength with a relatively light weight. From the standpoint of continuum mechanics, the guide can be considered as a thin-walled shell placed on supports elastic with respect to transverse displacements, rigidly attached to the base and loaded from the inside by sliding pressure forces of the projectile support belts (Bogomolov, 2003, pp.207-208). When calculating the deflections of such a shell from the action of the radial force applied from the inside of the shell at different points forming the inner surface of the shell, we find the values of the coefficient of radial stiffness of the tubular guide along its length.

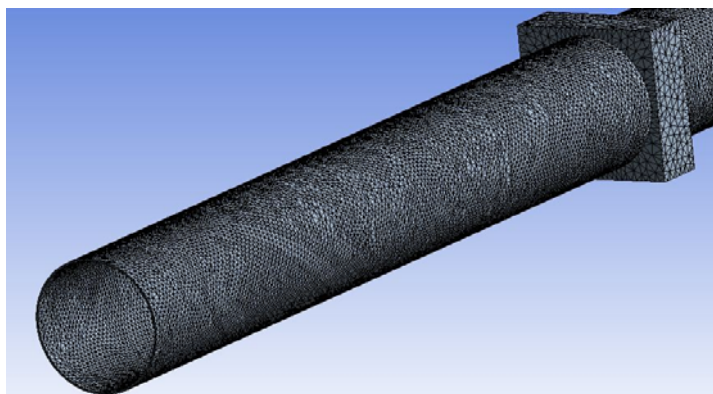


Figure 3 – Finite-element model of a tubular guide, modeled by the ANSYS finite-element analysis software package

Рис. 3 – Конечно-элементная модель трубчатой направляющей, смоделированная программным пакетом конечно-элементного анализа ANSYS
Слика 3 – Модел коначних елементна лансирне цеви, моделован помоћу ANSYS софтверског пакета са коначним елементима

To calculate the values of the stiffness coefficient in this work, we used the ANSYS Mechanical software product which analyzes the stress-strain state of the shell structure in which it is performed in a finite element analysis package. The finite element model of the guide, which includes the pipe and fragments of the bearing diaphragms of the guide package, is shown in Fig. 3.

Fig. 4 shows the result of a further approximation of the calculated tabulated deflection function δ from the action of the radial force $P = 647$ N at the point of application of force with the aim of smoothing it by a 7th degree polynomial by the least squares method. The coefficient C of the radial stiffness of the tubular guide at the point of force application is determined by dividing the magnitude of the applied force by the value of

the radial displacement of the inner surface of the pipe at the point of application of force.

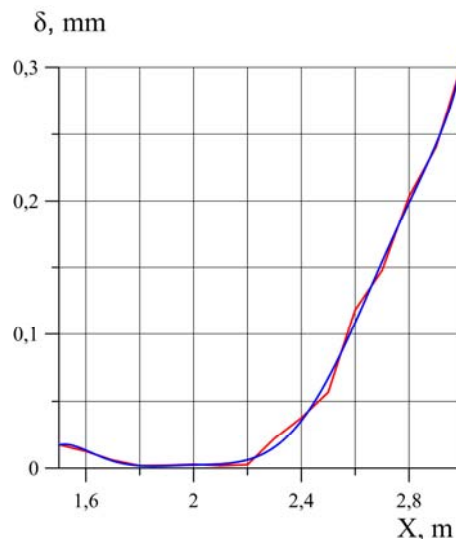


Figure 4 – Approximation of the results of calculating the values of radial elastic displacements δ from the action of the radial force $P = 647$ N in the place of application of the force by a polynomial of the 7th degree

Рис. 4 – Аппроксимация результатов расчета значений радиальных упругих перемещений δ от действия радиальной силы $P=647$ Н в месте приложения силы полиномом 7-ой степени

Слика 4 – Приближни резултати прорачуна вредности радијалних еластичних помака δ од дејства радијалне силе $P = 647$ Н на месту примене силе полиномом 7. степена

The projection, magnitude and direction of the vector $\vec{\rho}$ (Fig. 5) of the radial displacement of the axis of the projectile relative to the axis of the pipe in the plane of the cross section of the pipe containing the point "A" of the contact of the projectile with the pipe, on the axis of the launch system $C'x_{\Pi}y_{\Pi}z_{\Pi}$, the axis of which x_{Π} coincides with the longitudinal axis of the projectile, are defined using the generalized coordinates of the shell as follows:

$$\rho_y = y_n - v_n \cdot L_n ; \quad \rho_z = z_n + \psi_n \cdot L_n ; \quad (1)$$

$$\rho = \sqrt{\rho_y^2 + \rho_z^2} ; \quad \operatorname{tg} \lambda = \rho_z / (-\rho_y) \quad (2)$$

where y_{Π}, z_{Π} are the coordinates of the center of mass of the projectile in the launch coordinate system $C'x_{\Pi}y_{\Pi}z_{\Pi}$; L_{Π} is the distance from the

center of mass to the beginning of the last centering thickening; and $\psi_{\Pi}, \upsilon_{\Pi}$ are the angles that determine the position of the axis of the projectile relative to the axes of the launch system $C'x_{\Pi}y_{\Pi}z_{\Pi}$. The value of the elastic reaction:

$$R = C \cdot \delta, \quad \delta = \rho - \Delta \geq 0, \quad (3)$$

where δ is the value of the elastic deformation of the guide tube at the point of contact of the centering thickening with the pipe, and Δ is the value of the technological radial clearance between the centering thickening on the projectile shell and the inner surface of the guide tube.

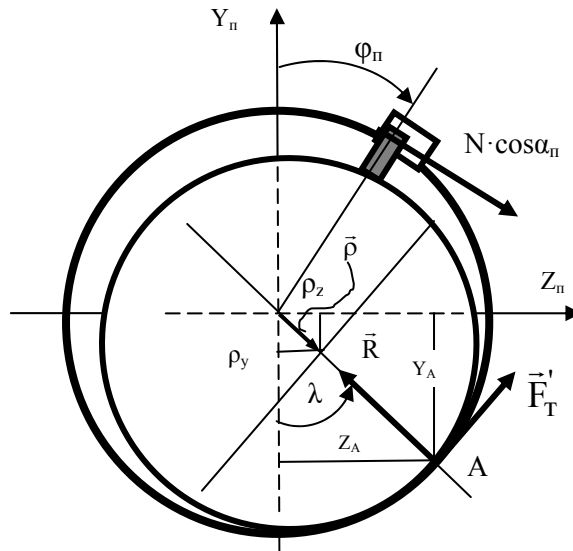


Figure 5 – Elastic response of the tubular guide to the pressure of the centering protrusion of the projectile

Рис. 5 – Упругая реакция трубчатой направляющей на давление центрирующего пояса снаряда

Слика 5 – Еластична реакција лансирне цеви на притисак центрирајућег појаса пројектила

The projections of the elastic reaction of the guide tube \vec{R} on the axis of the launch coordinate system $C'x_{\Pi}y_{\Pi}z_{\Pi}$ are respectively equal to:

$$R_x = 0; \quad R_y = -R \cdot \rho_y / \rho; \quad R_z = -R \cdot \rho_z / \rho. \quad (4)$$

Fig.6 presents the calculated values of the elastic reaction R of the guide at the contact point along the length of the spatial motion section of the M-21OF type missile inside the tubular guide with a helical groove like the guide of the BM-21 mobile launcher at various elevation angles θ_0 of the tube guide. The estimated wall thickness of the guide tube is $h = 2.0$ mm. The guide length is adopted to be $L = 3.0$ m. Fig. 7 shows the calculated change in the force R in the initial portion of the spatial motion of the projectile in the pipe.

It can be seen that, regardless of the specified initial elastic deformation of the guide tube, the force R converges quickly enough to a single calculated dependence. The length of the installation area is about 3 mm. Short-term calculated fluctuations in the elastic deformation of the pipe and the force R in the end do not affect the nature of the calculated dependences for the quantities characterizing the projectile movement.

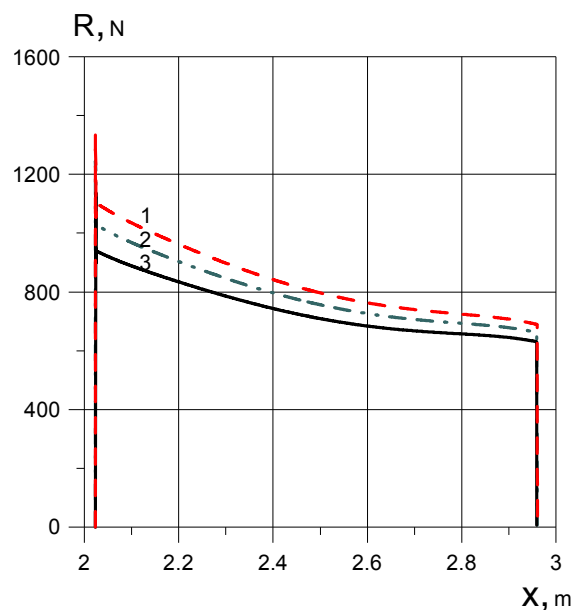


Figure 6 – Calculated values of the reaction R of the guide at the point of contact along the length of the section x of the spatial movement of the projectile at different elevation angles θ_0 of the tubular guide: 1 – $\theta_0 = 19^{\circ}4'$; 2 – $\theta_0 = 33^{\circ}3'$; 3 – $\theta_0 = 45^{\circ}46'$.

Рис. 6 – Расчетные значения реакции R направляющей в точке контакта по длине участка x пространственного движения снаряда при различных углах θ_0 возвышения трубчатой направляющей: 1 – $\theta_0 = 19^{\circ}4'$; 2 – $\theta_0 = 33^{\circ}36'$; 3 – $\theta_0 = 45^{\circ}46'$.
Слика 6 – Израчунате вредности реакције P лансирне цеви у тачки контакта дуж сегмента x просторног кретања пројектила на различитим угловима елевације θ_0 лансирне цеви: 1 – $\theta_0 = 19^{\circ}4'$; 2 – $\theta_0 = 33^{\circ}36'$; 3 – $\theta_0 = 45^{\circ}46'$.

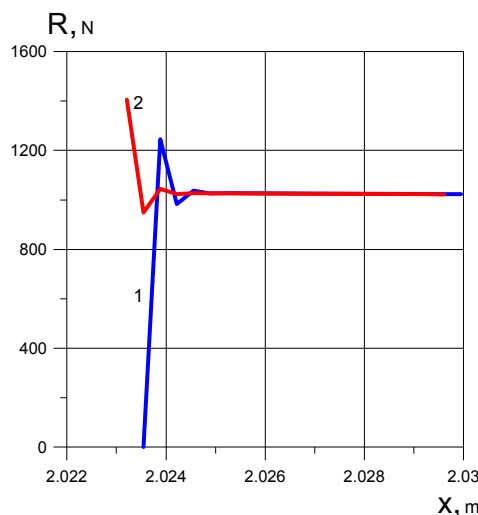


Figure 7 – Calculated reaction values R of the guide along the length x of the initial part of the spatial motion of the projectile at $\theta_0 = 33^{\circ}36'$ and different initial values of the deformation of the guide tube at the point of contact: 1 - no deformation; 2 - deformation on a force equal to the projectile weight.

Рис. 7 – Расчетные значения реакции R направляющей по длине x начального участка пространственного движения снаряда при $\theta_0 = 33^{\circ}36'$ и различных начальных значениях деформации трубы направляющей в точке контакта: 1 – деформация отсутствует; 2 – деформация от силы равной весу снаряда.

Слика 7 – Израчунате вредности реакције P водичта дуж дужине x почетног дела просторног кретања пројектила на $\theta_0 = 33^{\circ}36'$ и различите почетне вредности деформације лансирне цеви у тачки додира: 1 – нема деформације; 2 – деформација од силе која је једнака тежини пројектила.

The normal dynamic reaction force of the screw groove is found by the dependence (Bogomolov, 2003, pp.81-82):

$$N(t) = k_1 \cdot P(t) - k_2 \cdot Q_p \quad (5)$$

where k_1, k_2 are the coefficients depending on the angle of inclination of the screw groove α_{Π} , the coefficient of friction f of the projectile on the guide, the angle θ_0 of inclination of the guide; projectile mass m_p ; and moment of inertia I of the projectile relative to the longitudinal axis.

The total projections of the force $\vec{N}(t)$ and the friction force of the screw groove on the axis of the launch coordinate system $C'x_{\Pi}y_{\Pi}z_{\Pi}$ in the corresponding designations N_x, N_y, N_z are

$$\begin{aligned}
 N_x(t) &= -N(t) \cdot (\sin \alpha_{\Pi} + \mu \cdot \cos \alpha_{\Pi}) . \\
 N_y(t) &= -N(t) \cdot (\cos \alpha_{\Pi} - \mu \cdot \sin \alpha_{\Pi}) \cdot \sin \varphi_n . \\
 N_z(t) &= N(t) \cdot (\cos \alpha_{\Pi} - \mu \cdot \sin \alpha_{\Pi}) \cdot \cos \varphi_n .
 \end{aligned} \tag{6}$$

where φ_n is the angular coordinate of the groove (Fig. 5).

The differential equations of motion of the center of mass of the projectile in a fixed launch coordinate system $C'x_{\Pi}y_{\Pi}z_{\Pi}$ and in the projections on the axis of the CTNB trajectory system are given at the end of the article together with the equations of rotational motion of the projectile relative to the center of mass in a single system of equations (14).

To compile the equations of the rotational motion of the projectile relative to the center of mass, we use the Lagrange equations of the 2nd kind in the generalized coordinates:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} = Q_i . \tag{7}$$

The generalized coordinates of the rotational motion of the projectile relative to the center of mass in the coordinate system $Cx'y'z'$, which moves progressively with the center of mass of the projectile and whose axes are parallel to the axes of the starting system $Cxyz$, which has a start in the initial position of the center of mass of the projectile, are the angles Ψ and θ which determine the direction of the tangent to the trajectory of the center of mass, the angles α and β which determine the direction of the projectile axis with respect to the tangent, and the angle φ of the projectile rotation around the longitudinal axis.

When considering the motion of a projectile with respect to its center of mass, we take into account only the kinetic energy of this movement, not taking into account the energy of translational motion. In this case:

$$T = \frac{I}{2} \cdot (A \cdot p^2 + B \cdot q^2 + C \cdot r^2) , \tag{8}$$

where A, B and C are the moments of inertia of the projectile relative to the main central axes of inertia, which are the axes of the semi-connected system $C\zeta\eta\zeta$, which does not take part in the rotation of the projectile around its longitudinal axis ζ (Fig. 2), p, q, and r are the projections of the instantaneous angular velocity vector of the projectile on these axes.

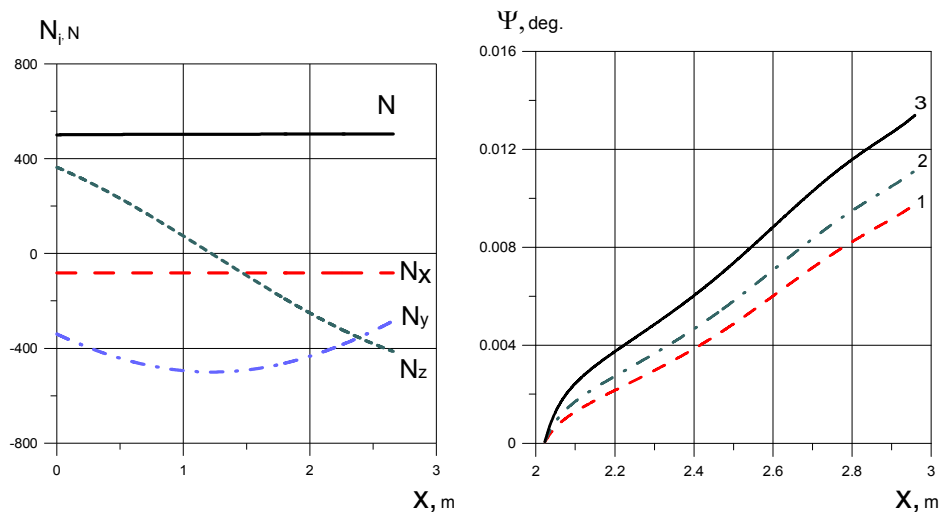


Figure 8 – Calculated values of the reaction force of the screw groove N and its projections on the axes of the starting coordinate system, as well as the yaw velocity angle Ψ along the length x of the spatial movement of the projectile at different elevation angles θ_0 of the tubular guide: 1 – $\theta_0 = 19^\circ 4'$; 2 – $\theta_0 = 33^\circ 36'$; 3 – $\theta_0 = 45^\circ 46'$.

Рис. 8 – Расчетные значения силы реакции винтового паза N и его проекций на оси пусковой системы координат, а также скоростного угла рыскания Ψ по длине участка x пространственного движения снаряда при различных углах θ_0 возвышения трубчатой направляющей: 1 – $\theta_0 = 19^\circ 4'$; 2 – $\theta_0 = 33^\circ 36'$; 3 – $\theta_0 = 45^\circ 46'$.

Слика 8 – Прорачунате вредности силе реакције спиралног вијка N и њених пројекција на оси стартног координатног система, као и угла скретања брзине Ψ дуж сегмента x просторног кретања пројектила на различитим угловима елевације θ_0 лансирне цеви: 1 – $\theta_0 = 19^\circ 4'$; 2 – $\theta_0 = 33^\circ 36'$; 3 – $\theta_0 = 45^\circ 46'$.

The components of the angular velocity of the projectile will be considered as the angular velocity associated with the rotation of the axis of the projectile and its own rotation. We obtain the instantaneous angular velocity of the projectile by sequentially adding the angular velocities of the trajectory system relative to the starting ($\vec{\Psi} + \vec{\theta}$), the velocity system relative to the half-connected system ($\vec{\alpha} + \vec{\beta}$), and the angular velocity of its own rotation $\vec{\phi}$ (Fig. 2). In this way:

$$\vec{\Omega} = \vec{\Psi} + \vec{\theta} + \vec{\alpha} + \vec{\beta} + \vec{\phi}. \quad (9)$$

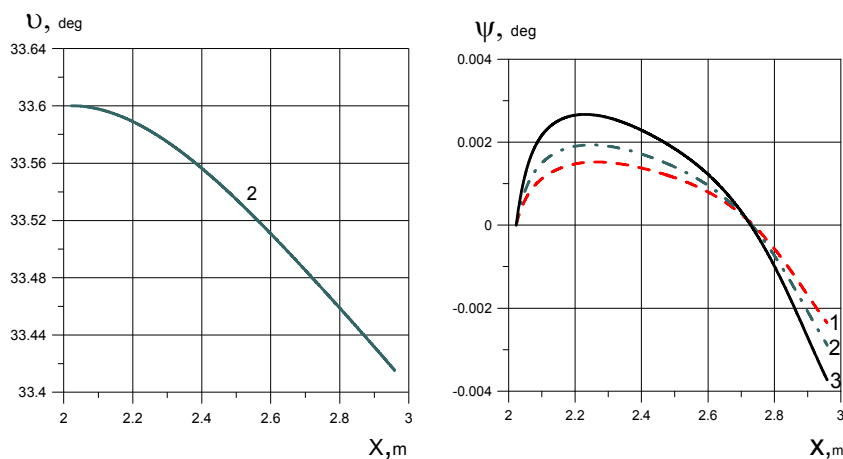


Figure 9 – Calculated values of the pitch angle u and the yaw angle ψ of the axis of the projectile along the length x of the spatial movement at different elevation angles θ_0 of the tubular guide: 1 – $\theta_0 = 19^{\circ}4'$; 2 – $\theta_0 = 33^{\circ}36'$; 3 – $\theta_0 = 45^{\circ}46'$.

Рис. 9 – Расчетные значения угла тангажа u и угла рыскания ψ оси снаряда по длине участка x пространственного движения при различных углах θ_0 возвышения трубчатой направляющей: 1 – $\theta_0 = 19^{\circ}4'$; 2 – $\theta_0 = 33^{\circ}36'$; 3 – $\theta_0 = 45^{\circ}46'$.

Слика 9 – Израчунате вредности угла нагиба u и угла ψ скретања осовине пројектила дуж дужине x просторног кретања на различитим угловима елевације θ_0 лансиране цеви: 1 – $\theta_0 = 19^{\circ}4'$; 2 – $\theta_0 = 33^{\circ}36'$; 3 – $\theta_0 = 45^{\circ}46'$.

Summing up the projections of the components of the angular velocity, we will get:

$$\begin{aligned}
 p &= \Omega_{\xi} = \dot{\psi} \cdot \cos(\theta + \alpha) + \dot{\beta} + \dot{\theta} \cdot \gamma_a; \\
 q &= \Omega_{\eta} = \dot{\psi} \cdot \sin \theta \cdot \beta - \dot{\psi} \cdot \cos \theta \cdot \gamma_a + \dot{\theta} + \dot{\alpha}; \\
 r &= \Omega_{\zeta} = \dot{\psi} \cdot \sin(\theta + \alpha) + \dot{\phi} - \dot{\theta} \cdot \beta + \dot{\beta} \cdot \alpha.
 \end{aligned} \tag{10}$$

Substituting (10) into the expression for the kinetic energy of the projectile (8) and calculating the derivatives of the kinetic energy of the projectile according to the corresponding generalized coordinates and velocities in the Lagrange equations (7), we obtain differential equations of the rotational motion of the projectile in the tubular guide for the angles of attack α and slip β which are given below together with the equations of motion of the center of mass. The differential equations for the velocity angles Ψ and θ are obtained by writing the equations of motion of the center of mass on the axis of the trajectory coordinate system. The aerodynamic angle of heel γ_a of the transition from the trajectory

coordinate system to the velocity coordinate system is determined from kinematic considerations. For this, we consider the transition matrices from the starting to the trajectory coordinate system, from the trajectory to the velocity coordinate system, and from the velocity to the semi-linked coordinate system, as well as the matrix of the direct transition from the starting to the semi-linked coordinate system. Multiplying successively the first three matrices and equating the corresponding elements of the obtained matrix and the direct transition matrix, we will get:

$$\sin \gamma_a = \frac{\sin \beta \cdot \sin \theta}{\cos \beta \cdot \cos \theta} = \operatorname{tg} \beta \cdot \operatorname{tg} \theta \quad (11)$$

The time derivative of the aerodynamic angle of heel $\dot{\gamma}_a$, which is included in the equations of rotational motion of the projectile, is found by differentiating in time (11):

$$\dot{\gamma}_a = 1/\cos \gamma_a \cdot \left[\operatorname{tg} \theta / \cos^2 \beta \cdot \dot{\beta} + \operatorname{tg} \beta / \cos^2 \theta \cdot \dot{\theta} \right] \quad (12)$$

The angle of rotation of the projectile φ , the speed $\dot{\varphi}$ and the acceleration $\ddot{\varphi}$ of its rotation are easily found from kinematic considerations and are determined by the angle of inclination of the screw groove. The yaw angle Ψ_n and the pitch angle θ_n of the velocity vector of the center of mass of the projectile in the launch coordinate system are determined by integrating the equations of motion of the center of mass into the projections on the axis of this coordinate system. The yaw angle Ψ and the pitch angle θ of the velocity vector of the center of mass of the projectile in the starting coordinate system are determined by integrating the equations of motion of the center of mass into the projections on the axis of the trajectory coordinate system.

The yaw ψ_n and pitch u_n angles which determine the position of the projectile axis in the launch coordinate system $C'x_n y_n z_n$ are necessary for calculations by dependences (2), (3) of the pipe elastic reaction force, which are calculated by the angles $\Psi_n, \theta_n, \Psi, \theta, \alpha, \beta$. For this, the matrix of the guide cosines between the axes of the launch $C'x_n y_n z_n$ and the semi-connected $C\xi\zeta\eta$ coordinate systems is determined by successive transitions from the launch to the trajectory system by turns at the angles Ψ_n and θ_n , from the trajectory to the velocity coordinate system by rotation at the angle γ_a , from the velocity to the semi-connected system

by turns at the angles β and α and its elements are equated to the elements of the matrix of the direct transition from the launcher to the semi-connected system by turns at the angles ψ_{Π} and u_{Π} .

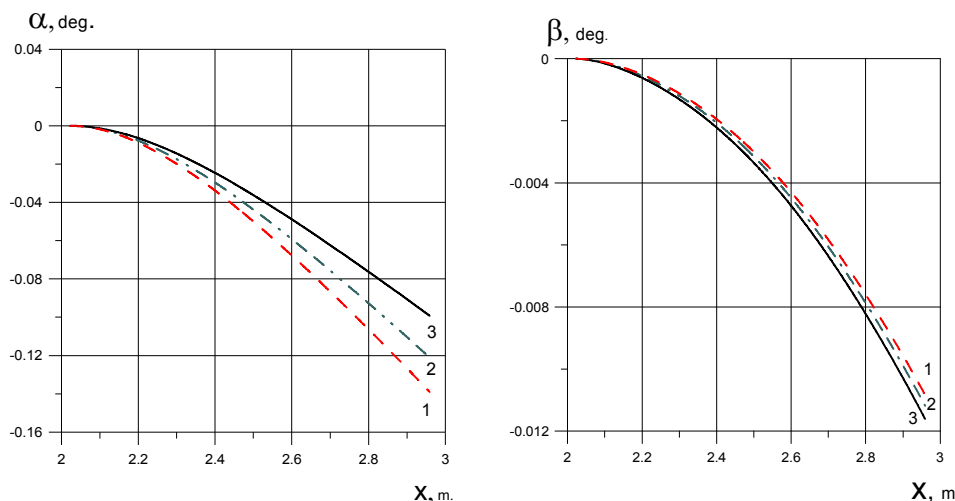


Figure 10 – Calculated values of the angle of attack α and the angle of slip β of the projectile along the length of the section x of spatial motion at different elevation angles θ_0 of the tubular guide: 1 – $\theta_0 = 19^{\circ}4'$; 2 – $\theta_0 = 33^{\circ}36'$; 3 – $\theta_0 = 45^{\circ}46'$.

Рис. 10 – Расчетные значения угла атаки α и угла скольжения β снаряда по длине участка x пространственного движения при различных углах θ_0 возвышения трубчатой направляющей: 1 – $\theta_0 = 19^{\circ}4'$; 2 – $\theta_0 = 33^{\circ}36'$; 3 – $\theta_0 = 45^{\circ}46'$.

Слика 10 – Израчунате вредности нападног угла α и угла клизања β пројектила дуж дужине пресека x просторног кретања на различитим угловима елевације θ_0 лансирне цеви: 1 – $\theta_0 = 19^{\circ}4'$; 2 – $\theta_0 = 33^{\circ}36'$; 3 – $\theta_0 = 45^{\circ}46'$.

If the generalized coordinate is the rotation angle, then the generalized force in equation (7) is the projection of the acting moment onto the axis of the elementary rotation. In this case:

$$Q_{\alpha} = M_{\alpha} = M_{\eta}, \quad Q_{\beta} = M_{\beta} = M_{y_a}, \quad (13)$$

where M_{α} is the moment of forces acting on the projectile relative to the axis of rotation by an angle α (axis η in Fig. 2), and M_{β} is the moment of acting forces relative to the axis of rotation by an angle β (axis y_a in Fig.2).

By writing the equations of motion of the center of mass of the projectile in the projections on the axis of the launch $C'x_{\Pi}y_{\Pi}z_{\Pi}$ and trajectory CTNB coordinate systems and adding to them the equations of rotational motion of the projectile relative to the center of mass in the form (7), we obtain the following system of equations which corresponds to the spatial motion of the projectile in the tubular guide:

$$\begin{aligned}
 1). \ddot{x}_n &= \frac{1}{m} \cdot [P(t) - (mg \cdot \cos \Theta_0 - N_y(t)) \cdot f - \\
 &\quad - mg \cdot \sin \Theta_0 + N_x(t) + R_{\Sigma x}]; \\
 2). \ddot{y}_n &= \frac{1}{m} \cdot [-mg \cdot \cos \Theta_0 + N_y(t) + R_{\Sigma y}]; \\
 3). \ddot{z}_n &= \frac{1}{m} \cdot (N_z(t) + R_{\Sigma z}); \\
 4). \dot{V} &= \Sigma F_T / m; \\
 5). \dot{\theta} &= \Sigma F_N / (m \cdot V); \\
 6). \dot{\psi} &= -\Sigma F_B / (m \cdot V \cdot \cos \theta); \\
 7). B \cdot \ddot{\alpha} + (A-C) \cdot [\dot{\Psi}^2 \cdot \sin(\theta + \alpha) \cdot \cos(\theta + \alpha) + \\
 &\quad + \dot{\Psi} \cdot \dot{\beta} \cdot \sin(\theta + \alpha)] - H \cdot [\dot{\Psi} \cdot \cos(\theta + \alpha) + \dot{\beta}] = M_{\eta}; \tag{14} \\
 8). A \cdot \ddot{\beta} + A \cdot [-\dot{\Psi} \cdot \dot{\theta} \cdot \sin(\theta + \alpha) + \dot{\theta} \cdot \dot{\gamma}_a] - \\
 &\quad - B \cdot [\dot{\Psi}^2 \cdot \sin \beta \cdot \cos \beta + \dot{\Psi} \cdot \cos \beta \cdot (\dot{\theta} + \dot{\alpha})] + \\
 &\quad + C \cdot [\dot{\Psi} \cdot \dot{\alpha} \cdot \sin(\theta + \alpha) + \dot{\Psi} \cdot \dot{\theta} \cdot \sin \theta + \\
 &\quad + \dot{\varphi} \cdot (\dot{\theta} + \dot{\alpha}) + \dot{\varphi} \cdot \alpha - \dot{\theta}^2 \cdot \beta] = M_{\gamma_a}
 \end{aligned}$$

The total vector of moments acting on the projectile forces relative to its center of mass is written as follows:

$$\vec{M}_c = \vec{CA} \times \vec{R}_{\Sigma} + \vec{CK} \times \vec{N}_{\Sigma}, \tag{15}$$

where $\vec{R}_{\Sigma} = \vec{R} + \vec{F}_T + \vec{F}_{T1}$ represents the vector sum of the forces applied at the reference point "A", and $\vec{N}_{\Sigma} = \vec{N}(t) + \vec{F}_{\text{tn}}$ is the vector sum of the forces applied to the projectile pin at the point "K" (Fig. 2). The

projections of this vector on the direction of the η and y_a axes give the moment values M_η and M_{y_a} .

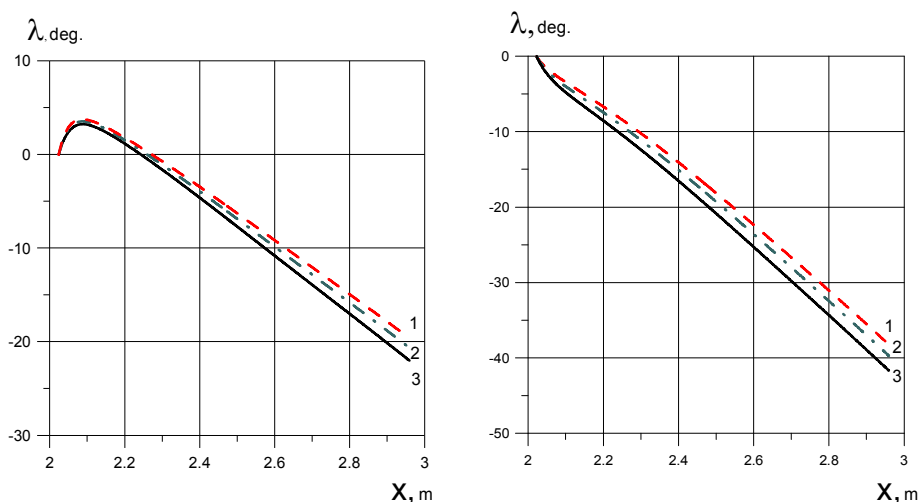


Figure 11 – Calculated values of the angle λ of the contact of the projectile with the guide (Fig. 5) along the length of the section x spatial movement with a slope angle of of the screw 2.5° and the initial angular coordinate of the screw groove $\varphi_{n0} = 15^\circ$ (left) and $\varphi_{n0} = 30^\circ$ (right): 1 - $\theta_0 = 19^\circ 4'$; 2 - $\theta_0 = 33^\circ 36'$; 3 - $\theta_0 = 45^\circ 46'$.

Рис. 11 – Расчетные значения угла λ контакта снаряда с направляющей (рис. 5) по длине участка x пространственного движения с углом наклона 2.5° и начальной угловой координатой винтового паза $\varphi_{n0} = 15^\circ$ (слева) и $\varphi_{n0} = 30^\circ$ (справа): 1 - $\theta_0 = 19^\circ 4'$; 2 - $\theta_0 = 33^\circ 36'$; 3 - $\theta_0 = 45^\circ 46'$.

Слика 11 – Израчунате вредности угла λ контакта пројектила са водиштем (сл. 5) дуж дужине пресека x просторног кретања са углом нагиба 2.5° и почетном угаonom координатом спиралног вијка $\varphi_{n0} = 15^\circ$ (лево) и $\varphi_{n0} = 30^\circ$ (десно): 1 - $\theta_0 = 19^\circ 4'$; 2 - $\theta_0 = 33^\circ 36'$; 3 - $\theta_0 = 45^\circ 46'$.

As a result of the numerical solution of the system of differential equations (14), we find the values of the velocity of the center of mass of the projectile V , the angles Ψ and θ , which determine the direction of the velocity vector of the center of mass in the starting coordinate system, the angles α and β , which determine the direction of the axis of the projectile with respect to the velocity vector, as well as the numerical values of the components of the angular velocity of the projectile $\vec{\Psi}, \vec{\theta}, \vec{\alpha}, \vec{\beta}$ (Fig. 2). Since the spatial orientation of the projectile axis in the starting coordinate system is determined by the angles ψ and u (Fig. 2) when calculating the parameters of the projectile trajectory, then, by

converting the coordinates, the obtained angles are recalculated by ψ and u .

The instantaneous angular velocity of the projectile is determined by dependence (7). On the other hand, this angular velocity

$$\vec{\Omega} = \vec{\dot{\psi}} + \vec{\dot{v}} + \vec{\dot{\varphi}} \quad (16)$$

Equating the right-hand sides of (7) and (14), we will obtain

$$\vec{\dot{\psi}} + \vec{\dot{v}} = \vec{\dot{\Psi}} + \vec{\dot{\theta}} + \vec{\dot{\alpha}} + \vec{\dot{\beta}} \quad (17)$$

By writing, using the transition tables, (17) in the projections on the axis of the rotation angles ψ and u , which are the y' and η axes, (Fig. 2), we obtain, respectively:

$$\dot{\psi} = \dot{\Psi} + \dot{\beta} \cdot \cos \gamma_a \cdot \cos \Theta; \quad \dot{v} = \dot{\theta} \cdot \cos \gamma_a \cdot \cos \beta + \dot{\alpha} \quad (18)$$

In Figs. 9 - 11, the results of the calculations of the movement of an M-21OF missile inside the tube guide of a BM-21 mobile launcher are presented. In Fig. 8, the left side shows the calculated values of the reaction force of the screw groove N and its projections N_x , N_y , and N_z on the axis of the launch coordinate system $C'x_{\eta}y_{\eta}z_{\eta}$ along the length of the spatial motion of the projectile at an elevation angle of the tubular guide $\theta_0 = 33^{\circ}36'$. The calculated values of the angle λ of the contact of the projectile with the guide according to Fig. 5 are given in Fig. 11. The content of the remaining figures can be seen from the figure captions.

Conclusions

1) A computational and mathematical model of the spatial motion of a rocket with centering thickenings and a leading pin on the housing in an elastic thin-walled tubular guide provided with a screw groove on the fixed supports is developed, taking into account the interaction of the projectile with the inner surface of the guide tube at the locations of the leading pin and centering thickenings of the projectile.

2) The force of the normal reaction of the inner surface of the guide acting on the projectile is found as a reaction to the elastic deformation of the pipe caused by normal center-of-center displacements of the tube in contact with the guide. In this case, the tubular guide is considered as an

elastic thin-walled shell. To calculate the values of the shell stiffness coefficient along its length, the finite element method implemented in the ANSYS Mechanical software package was used.

3) The generalized parameters of the rotational motion of the projectile are the yaw velocity angles Ψ and pitch θ , the angle of attack α and the slip angle β , as well as the rotation angle around the longitudinal axis φ . The time derivatives of the yaw velocity angles Ψ and pitch θ are determined by writing a theorem on the motion of the center of mass of the projectile on the axis of the trajectory coordinate system CTNB and are taken as components of the angular velocity of the projectile. The generalized calculated parameters of the rotational motion are the angle of attack α and the slip angle β , as well as the rotation angle around the longitudinal axis φ . The aerodynamic angle of heel γ_a is found from the transition formulas for the adopted coordinate systems. The yaw velocity angles Ψ , pitch θ , the aerodynamic roll angle γ_a , the angle of attack α and the slip angle β as well as the first time derivatives of these angles are converted into the yaw angles ψ and pitch u of the projectile axis and their derivatives in the starting coordinate system.

4) The results of the calculations of the above angles, as well as the forces on the pin and at the point of contact of the projectile with the guide, are presented.

References

Antunevich, A.L., Il'jov, I.G., Goncharenko, V.P. & Mironov, D.N. 2017. Application of mathematical models for the analysis of complex mechanical system undergoing heterogeneous variable actions. *Theoretical and applied mechanics*, 32, pp.207-213 (in Russian). (In the original: Антуневич, А.Л., Ильёв, И.Г., Гончаренко, В.П., Миронов Д.Н. 2017. Применение математической модели для анализа сложной механической системы, подверженной неоднородным переменным воздействиям. *Теоретическая и прикладная механика*, 32, стр.207-213). Available at: <http://rep.bntu.by/handle/data/28261> [Accessed: 30 July 2019].

Bogomolov, A.I. 2003. *Osnovaniya ustrojstva i raschet reaktivnyh system*. Penza: Penza Artillery Engineering Institute (in Russian). (In the original: Богомолов, А.И. 2003. *Основания устройства и расчет реактивных систем*. Пенза: Пензенский артиллерийский инженерный институт).

Dziopa, Z., Buda, P., Nyskowski, M., & Pawlikowski, R. 2015. Dynamics of an unguided missiles launcher. *Journal of theoretical and applied mechanics*, 53(1), pp.69-80. Available at: <https://doi.org/10.15632/jtam-pl.53.1.69>.

Dziopa, Z., Krzysztofik, I., & Koruba, Z. 2010. An analysis of the dynamics of a launcher-missile system on a moveable base. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Technical Sciences*, 58(4), pp.645-650. Available at: <https://doi.org/10.2478/v10175-010-0068-5>.

Raducanu, D., Nedelcu, I., Safta, D., Somoia, P., & Moldoveanu, C. 2009. Particularity Concerning Evaluation of Unguided Rocket Trajectories Deviation under the Disturbance Factors Action. In: *Proceedings of the World Congress on Engineering 2009, London, Vol II WCE*, pp.1458-1462, July 1–3. Available at: http://www.iaeng.org/publication/WCE2009/WCE2009_pp1458-1462.pdf [Accessed: 30 July 2019].

Shyiko, O.M. 2014. Simulation of joint movement of a missile and a mobile launcher. *Armament systems and military equipment*, 2(38), pp.44-60. (in Ukrainian). (In the original: Шийко О.М. 2014. Моделювання сумісного руху реактивного снаряда та мобільної пускової установки РСЗВ. *Системи озброєння і військова техніка*, 38(2), стр.44-60).

Somoia, P., Moraru, F., Safta, D., & Moldoveanu, C. 2007. A Mathematical Model for the Motion of a Rocket-Launching Device System on a Heavy Vehicle. *WSEAS Transactions on Applied and Theoretical Mechanics*, 2(4), pp.95-101. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/261708644> [Accessed: 30 July 2019].

Svetlickij, V.A. 1986. *Dinamika starta letatelnyh apparatov*. Moscow: Nauka. Gl. red. fiz.-mat. lit. (in Russian). (In the original: Светлицкий, В.А. 1986. *Динамика старта летательных аппаратов*. Москва: Наука. Гл. ред. физ.-мат.лит.).

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ РЕАКТИВНОГО СНАРЯДА В ТРУБЧАТОЙ НАПРАВЛЯЮЩЕЙ ПУСКОВОЙ УСТАНОВКИ

Александр Н. Шийко, **корреспондент**^а, Анатолий М. Павлюченко^а, Алексей А. Обухов^б, Игорь В. Коплык^в

^а Национальный аграрный университет, Сумы, Украина

^б Научно-исследовательский центр ракетных войск и артиллерии, Сумы, Украина

^в Государственный университет, Сумы, Украина

РУБРИКА ГРНТИ: 78.25.16 Вооружение и техника ракетных войск;
78.25.17 Вооружение и техника войск ПВО

ВИД СТАТЬИ: оригинальная научная статья

ЯЗЫК СТАТЬИ: английский

Резюме:

В данной статье представлены расчетная и математическая модели пространственного движения реактивного снаряда с центрирующими утолщениями и ведущим штифтом на корпусе в тонкостенной трубчатой направляющей, закрепленной на двух неподвижных опорах и снабженной винтовым пазом. Модели учитывают взаимодействие снаряда с внутренней поверхностью

трубы направляющей в местах размещения ведущего штифта и центрирующего утолщения. Сила нормальной реакции внутренней поверхности направляющей находится как реакция на упругую деформацию трубы, вызванная нормальными к ее внутренней поверхности перемещениями центрирующего утолщения в месте контакта с направляющей. При этом трубчатая направляющая рассматривается как упругая тонкостенная оболочка. Для расчета значений коэффициента жесткости оболочки по ее длине используется метод конечных элементов, реализованный в пакете программ ANSYS Mechanical. Поступательная составляющая движения снаряда исследуется на основании теоремы о движении центра масс. Вращательная составляющая исследуется на основании уравнений Лагранжа 2-го рода. Обобщенными параметрами вращательного движения являются скоростные углы рыскания Ψ и тангажа θ , угол атаки α , угол скольжения β , угол поворота снаряда вокруг продольной оси φ . Аэродинамический угол крена γ_a находится из формул перехода для принятых систем координат. Скоростные углы рыскания Ψ , тангажа θ , аэродинамический угол крена γ_a и первые производные по времени этих углов пересчитываются в углы рыскания ψ и тангажа u оси снаряда и их производные в стартовой системе координат. Приведены результаты расчетов некоторых указанных выше углов, а также сил на штифте и в точке контакта снаряда с направляющей.

Ключевые слова: реактивный снаряд, пусковая установка, упругая модель, трубчатая направляющая, пространственный участок движения, сила взаимодействия, углы вектора, скорости центра масс, углы оси снаряда.

МОДЕЛИРАЊЕ КРЕТАЊА ПРОЈЕКТИЛА У ЛАНСИРНОЈ ЦЕВИ

Александар Н. Шијко, аутор за преписку^а, Анатолиј М. Пављученко^а,
Алексеј А. Обухов^б, Игор В. Коплик^в

^а Национални пољопривредни универзитет, Суми, Украјина

^б Научноистраживачки центар артиљеријско-ракетних јединица,
Суми, Украјина

^в Државни универзитет, Суми, Украјина

ОБЛАСТ: механика, артиљеријско-ракетно наоружање

ВРСТА ЧЛАНКА: оригинални научни рад

ЈЕЗИК ЧЛАНКА: енглески

Сажетак:

У овом раду су представљени прорачунски и математички модели просторног кретања пројектила са центрирајућим прстеном и водећим прстеном на телу у танкозидној лансирној цеву, која је

фиксирана за два стабилна носача и опремљена спиралним вијком. Приликом моделовања узима се у обзир интеракција пројектила са унутрашњом површином лансирне цеви у местима контакта центрирајућег прстена са водиштем цеви. Сила нормалне реакције унутрашње површине лансирне цеви се израчунава као реакција на еластичну деформацију цеви која је изазвана уобичајеним померањем центрирајућег прстена у месту контакта са водиштем лансирне цеви. У овом случају водиште лансирне цеви се разматра као еластична танкозида чаура. У циљу прорачуна вредности коефицијента крутости чауре, користи се метода коначних елемената, имплементирана у софтверском пакету ANSYS Mechanical. Транслациона компонента кретања пројектила истражује се на основу теореме средишта кретања масе, а ротациона компонента на основу Лагранжеових једначина друге врсте. Генерализовани параметри ротационог кретања су углови окретања брзине Ψ и висине θ , угао напада α , угао клизања β и угао ротације пројектила око уздужне осе φ . Аеродинамички угао нагиба γ_a се израчунава из прелазних формула за усвојене координатне системе. Угао скретања брзине Ψ , висине θ , аеродинамички угао нагиба γ_a и први деривати ових углова претварају се у углове скретања ψ и висине u осе пројектила и њихове деривате у почетном координатном систему. У раду су такође приказани резултати прорачуна неких од наведених углова, као и утицај силе на центрирајући прстен у месту контакта пројектила са водиштем лансирне цеви.

Кључне речи: ракетни пројектил, покретни лансер, еластични модел, лансирна цев, просторни пресек кретања, силе интеракције, углови вектора, брзине центра масе, углови осовине пројектила.

Дата получения статьи / Paper received on / Датум пријема чланка: 30.07.2019.

Дата получения откорректированной версии статьи / Manuscript corrections submitted on / Датум достављања исправки рукописа: 29.09.2019.

Дата окончательного согласования статьи / Paper accepted for publishing on / Датум коначног прихватања чланка за објављивање: 30.09.2019.

© 2019 The Authors. Published by Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.упр.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/>).

© 2019 Авторы. Опубликовано в «Военно-технический вестник / Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier» (www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.упр.срб). Данная статья в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией «Creative Commons» (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2019 Аутори. Објавио Војнотехнички гласник / Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.упр.срб). Ово је чланак отвореног приступа и дистрибуира се у складу са Creative Commons licencom (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).



SIMULATION OF EVACUATION FROM THE TERAZIJE TUNNEL

Radoje B. Jevtić

Secondary School of Electrical Engineering „Nikola Tesla“,
Niš, Republic of Serbia,

e-mail: milan.jvtc@gmail.com,

ORCID iD:  <http://orcid.org/0000-0002-0179-1321>

DOI: 10.5937/vojtehg67-20742; <https://doi.org/10.5937/vojtehg67-20742>

FIELD: Traffic

ARTICLE TYPE: Original Scientific Paper

ARTICLE LANGUAGE: English

Abstract:

Evacuation presents a very complex and difficult task that implies the safest, shortest and fastest conveying of people, animals and material resources from an endangered object or location to a secure location. Different objects, different locations and different scenarios demand different evacuation strategies. One of very specific objects for evacuation is a road traffic tunnel. Because of the presence of a number of vehicles and people within limited space, road traffic tunnel evacuation can be an extremely unpredictable and dangerous task, which has already been confirmed by many accidents. There are also other aggravating circumstances such as tunnel length, fast spreading of smoke (especially of CO₂ – carbon dioxide and CO- carbon monoxide) and fire in closed areas, limited options for approach to the accident place and many others, very often impossible to predict. One of very good, economical and safe ways for the prediction and analysis of evacuation situations and scenarios is the usage of simulation software. This paper has been written to show a simulation of evacuation from the road traffic tunnel at Terazije in Belgrade for different scenarios and for different speeds of participants.

Key words: evacuation, simulation, tunnel, traffic.

Introduction

Tunnels are underground or underwater (undersea) objects with both sides opened horizontally or with a slight gradient, designed for road traffic, railway traffic, water supply, etc. Depending on different factors (their position related to the ground, structure, applied building method, purpose, etc.), there are several different criteria to categorize tunnels. Their main purpose is to connect two different parts of the road separated by different obstacles. Modern tunnels for road traffic present real technological miracles equipped with the latest structural, electro

technical, ecological and other solutions. They are equipped with modern light signalization, air and ventilation devices, sensors and detectors, cameras and a lot of other equipment that make drive through them simple, comfortable and, in the first place, safe. Many tunnels were built in a form of two “pipes”, for traffic in both directions. In case of an accident, there are connection points where the traffic from the “pipe” where the accident occurred can be directed into the other “pipe”. It is obvious that modern technology with its solutions increases safety in tunnels. The interior of a modern road traffic tunnel is presented in Figure 1 (Jevtić, 2014, pp.537-541), (Jevtić, 2016a, pp.754-768), (Jevtić, 2017, pp.98-114), (Grgić, 2008).



Figure 1 – The interior of a new road traffic tunnel on the Ljig-Preljina highway in Serbia (Radović, 2016)

Рис. 1 – Внутреннее обустройство туннеля на автомагистрали Лиг-Прелина в Сербии (Radović, 2016)

Слика 1 – Унутрашњост новог друмског тунела на ауто-путу Лиг–Прелјина у Србији (Radović, 2016)

However, tunnel characteristics, the number of vehicles with different dimensions, purposes and speeds, drivers’ skills and drivers’ health and psychological conditions, human behaviour during panic in closed areas and many other different factors make it almost impossible to completely eliminate accidents in tunnels. Many different sources state that, since 1949, there have been 36 big accidents in road traffic tunnels, 31 of them in Europe. There were more than 200 slightly and seriously injured in those accidents, while more than 100 people lost their lives,

mostly from fire and gases. There were many calculations and simulations but it is still hard to completely predict fire and smoke behaviour in tunnels. Material damage was huge which was documented by the fact that most of them were closed for a long time after the accidents. Some examples of the biggest road traffic tunnel accidents are the accidents in the Mont Blanc Tunnel (France) and the Tauern Tunnel (Austria) in 1999, and in the St. Gotthard Tunnel (Switzerland) in 2001. These road traffic tunnel accidents took about 62 human lives (39 in Mont Blanc, 12 in Tauern and 11 in St. Gotthard), (Daeron & Ruffin, 2000). The longest tunnels are intended for railway, but there are a lot of long tunnels for road traffic. The list of the longest road traffic tunnels is presented in Table 1.

Table 1 – The longest road traffic tunnels in the world (Automagazin, 2011)
Таблица 1 – Самые длинные автодорожные тоннели мира (Automagazin, 2011)
Табела 1 – Најдужи друмски тунели на свету (Automagazin, 2011)

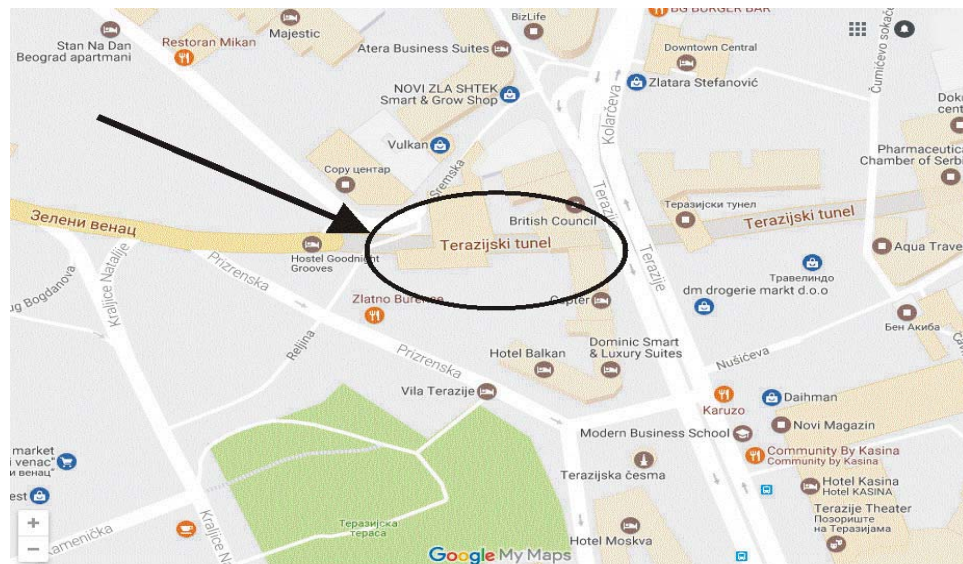
The name of the tunnel	Location	Length (km)
Duplex A86	France	9.98
Platbutsch	Austria	9.98
Gran Sasso D'italia	Italia	10.14
Hida	Japan	10.78
Yamate Tunnel	Japan	10.94
Kanetsu	Japan	11.1
Folgefonn	Norway	11.1
Baojiashan	China	11.2
Gudvangen	Norway	11.43
Mount Blanc	France – Italia	11.6
Diaplingi Tunnel	China	12.23
Frejus	France-Switzerland	12.87
Hsuehshan Tunnel	Taiwan	12.87
Arlberg	Austria	14
St. Gotthard Tunnel	Switzerland	16.9
Qinling Zhongnanshan Tunnel	China	18.04
Laerdal Tunnel	Norway	24.51

The Terazije Tunnel represents one of the busiest traffic spots in Belgrade where even the smallest traffic jam can bring a halt to the traffic through most of Belgrade. Designed by Ljubomir Porfirović and Milosav Vidaković, the Terazije Tunnel in Belgrade was completed in 1973 through the building that had already existed in that location. It was a building of the then-Union of Chambers of Commerce, the construction of which lasted from 1957 to 1960. Since a tunnel had been planned before World War Two, the space for the tunnel entrance had been left in the building basement (Telegraf, 2013). In 1955, when architect Dimitrije T. Leko proposed a plan for the City Hall, there was a tunnel at Terazije clearly plotted in it (Nikolić, 2014).

The Terazije Tunnel has a length of 223 m, a width of 13 m and a height of 5.5 m. It is of strategic importance for the city's traffic functioning. Any kind of jam, accident or similar occurrence in it can cause major problems in traffic frequency in all nearest streets as well as in some streets further away. Many accidents, unfortunately, have shown and proved its great traffic importance. For example, in the accident in October 2015, there were 11 cars and a bus in a chain collision which caused a jam for several hours (Blic, 2015). In an accident in 1997, Spasoje Barišić from Batajnica drove his Porsche at 192.4 km/h and caused deaths of three young people while three others were seriously injured. The direction ahead of and after the Branko's Bridge, the high-performance car, and violation of traffic laws enabled reaching such high speed. There were also cases with fire, as the one which occurred in 2013 when a Japan-donated city bus caught fire. Fortunately, there were no victims. This tunnel is regularly maintained and in case of an accident, traffic is mainly directed from Dečanska street to the Branko's Bridge, while vehicles coming from the Branko's Bridge are directed to alternative streets. Soon after this fire, there was another one of a private car, so these occurrences prompted questions about the Tunnel fire safety and safety in public traffic. According to Ivan Zarev, the then-Head of Direction for Prevention of the Emergency Management Sector of the Ministry of Interior of Serbia, many old objects built 30, 40 and more years before had "receivership" right for fire protection. These objects would probably not satisfy modern and stricter fire regulations. For example, the Terazije Tunnel does not meet the basic requirements for fire protection such as fire extinguishing devices, ventilation systems, hydrant network, etc. (Pressonline, 2013).

The tunnel is available only for vehicles; for pedestrians, pass is not allowed. Because of its location, the tunnel presents an important traffic connection between the old part of the town and New Belgrade via

Brankova street. The Terazije Tunnel is presented on the map in Figure 2 and everyday's situation in the tunnel is given in Figure 3.



*Figure 2 – Tunnel at Terazije, marked on the map of Belgrade
 Рис. 2 – Тоннель „Теразије“, означен на карте Белграда
 Слика 2 – Теразијски тунел означен на карти Београда*



*Figure 3 – Every day's situation in the Terazije Tunnel
 Рис. 3 – Будни в тоннеле „Теразије“
 Слика 3 – Свакодневни приказ у Теразијском тунелу*

It is, therefore, obvious that the Terazije Tunnel presents an important traffic factor in Belgrade and in the cases of its closure or blocking, there could be serious problems such as traffic collapse, people

and goods transport disruptions and, most importantly, endangered human lives. So, it is necessary to predict potential situations that can cause traffic paralysis in the Tunnel and predict all needed time for people's evacuation. Timely evacuation of people presents the most important task in crisis situations and the most important contribution of this study. Evacuation prediction presents a very hard, complex and always open task, especially in specific situations such as those that can occur in tunnels. One of the best ways for evacuation prediction in terms of safety, accuracy, organisation, and low cost is a usage of simulation software. There are a lot of different evacuation software programs in the market. One of the most frequently used is Pathfinder.

This paper presents an example of prediction of specific evacuation situations in the Terazije Tunnel (collision and scrimmage) where such situations frequently occur. The results realized in this paper present the advantages of simulation software usage and much better potentials for the prediction of different evacuation situations thus enabling correct and safe prediction of evacuation procedures, calculation of evacuation times and a choice of the best evacuation route in terms of human safety.

Simulation model

The simulation model was designed in Auto Cad software in accordance with its real dimensions and transferred to Pathfinder 2012. Pathfinder 2012 presents special software developed as an evacuation simulator. In the market, there are several different simulators that can be used for evacuation purposes. Pathfinder provides a graphical user interface for simulation design and execution as well as 2D and 3D visualization tools for a results analysis which enables an evacuation presentation in every moment and at every location of the observed object (Thunderhead engineering, 2012).

The simulation was realized for different occupant speeds (0.9 m/s, 1.1 m/s, 1.3 m/s, 1.7 m/s, 2 m/s, 2.5 m/s, 3 m/s, 3.5 m/s, 4 m/s, and 4.5 m/s). Generally, occupants can achieve higher speeds than 4.5 m/s but not in the limited area with other occupants and cars as obstacles. The occupants were positioned in their vehicles at the start of the simulation. In accordance with the postulated scenarios, the tunnel was full with different vehicles. There were 161 cars and 5 buses. Every car had 4 occupants inside and every bus had 60 occupants inside. The total number of occupants was 944. The dimensions (length, width, height) of every car were 4.2 m x 1.8 m x 1.6 m, while the dimensions of all buses were 13 m x 2.65 m x 3.2 m. Every vehicle had a determined number of

doors which means that cars had 4 exit doors and busses had 3 exit doors. The distance between every two vehicles was 0.9 m. The vehicles were positioned in four separate lanes, two in one direction and two in the opposite direction. Similar evacuation models were realized in some earlier papers (Jevtić, 2016a, pp.754-768), (Jevtić, 2016b, pp.197-208), (Jevtić, 2017, pp.98-114).

There were two different simulation scenarios. The first simulation scenario involved a tunnel full with cars and buses but without any kind of collision, thus simulating a simple jam in the tunnel - almost an everyday occurrence. The second scenario also involved a tunnel full with cars and buses but with a collision. The collision between a bus and three cars was at 92 m after the Tunnel entrance from the side of Zeleni Venac. Of course, this evacuation model can be changed for different scenarios and conditions, which presents a good approach in simulating as realistic situations as possible and getting as accurate results as possible (Ronchi et al, 2012, pp.74-84), (Jevtić, 2016c, pp.35-48), (Galea, 2013). The vehicles in the tunnel for the first and the second scenario are presented in Figures 4 and 5.

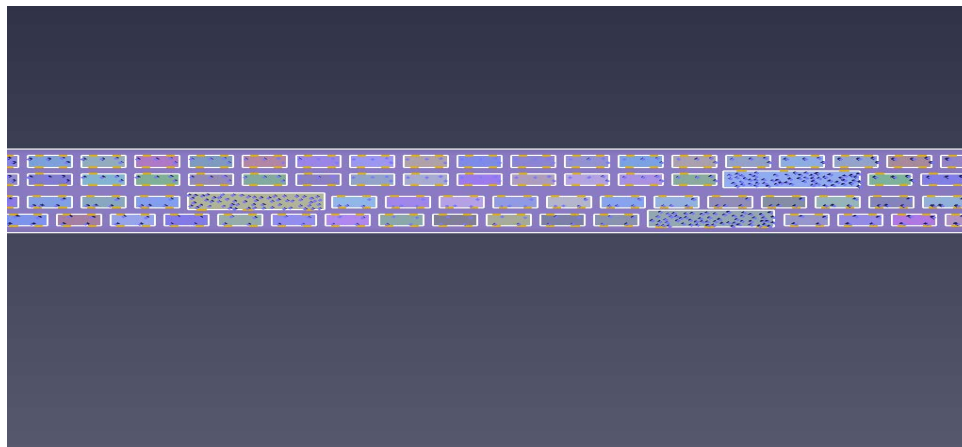


Figure 4 – Simulation presentation of a tunnel with vehicles and occupants inside (the first simulation scenario)

Рис. 4 – Презентација моделирования туннеля с автомобилями и пассажирами внутри (первый сценарий модели)

Слика 4 – Симулација презентације тунела са возилима и путницима у њему (први сценарио симулације)

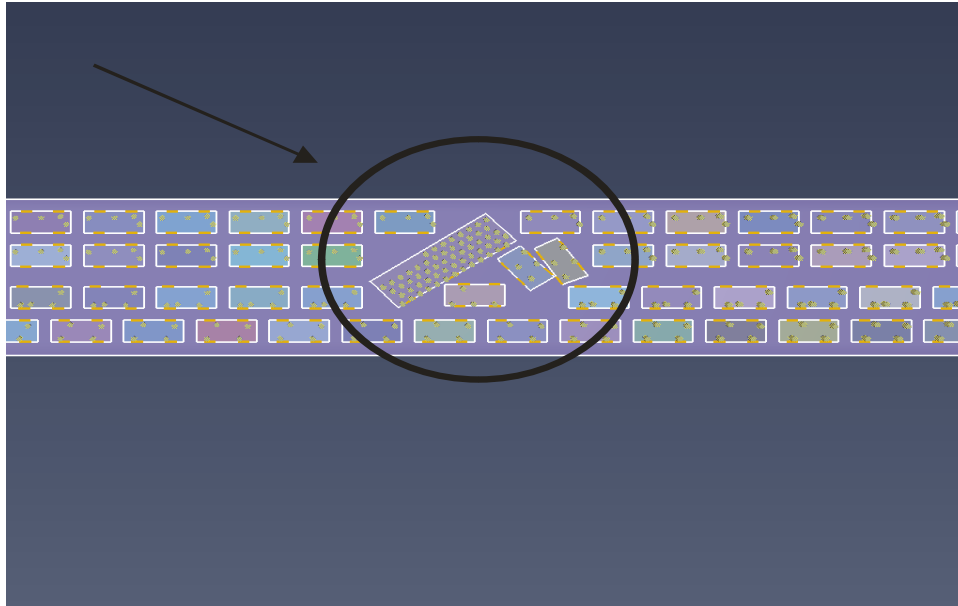


Figure 5 – Simulation presentation of the tunnel with the marked position of a collision (the second simulation scenario)

Рис. 5 – Презентация моделирования туннеля с обозначенным положением аварии (второй сценарий модели)

Слика 5 – Симулација презентације тунела са означеном позицијом судара (други сценарио симулације)

Simulation results

The simulations of the evacuation from the Terazije Tunnel were realized on a Lenovo ThinkPad L560 laptop, with Intel i7 6600U 1.80GHz - 2.40ghz and 16 GB of RAM memory.

The average simulation time was about 15 minutes.

Some evacuation examples from the first scenario with the occupant speed of 1.1 m/s are presented in Figures from 6 to 9, while the complete simulation results for both scenarios are presented in Figures 10 and 11.

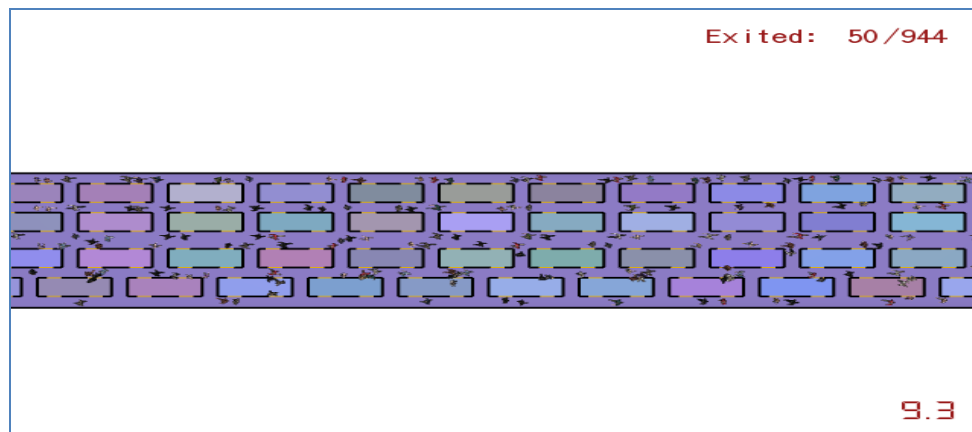


Figure 6 – Simulation example for the first scenario after 9.3 seconds from the start of the simulation

Рис. 6 – Модель по первому сценарию спустя 9,3 секунды от начала моделирования

Слика 6 – Пример симулације за први сценарио после 9,3 секунде од почетка симулације



Figure 7 – Simulation example for the first scenario after 39.6 seconds from the start of the simulation

Рис. 7 – Модель по первому сценарию спустя 39,6 секунд от начала моделирования

Слика 7 – Слика 7 – Пример симулације за први сценарио након 39,6 секунди од почетка симулације

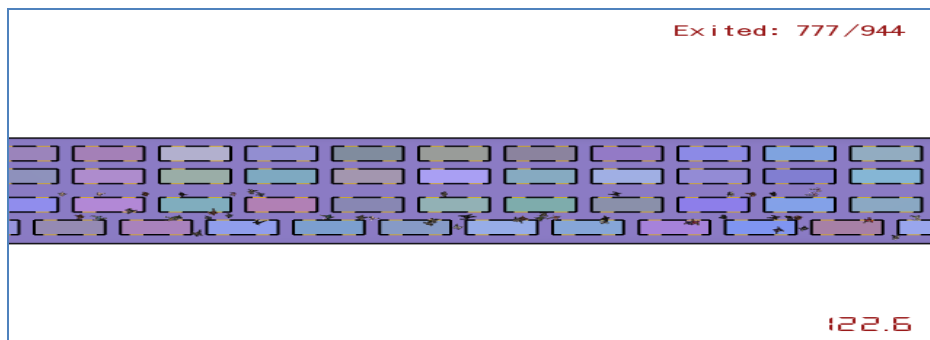


Figure 8 – Simulation example for the first scenario after 122.6 seconds from the start of the simulation

Рис. 8 – Модель по првому сценарию спустя 122,6 секунд от начала моделирования

Слика 8 – Пример симулације за први сценарио после 122,6 секунди од почетка симулације

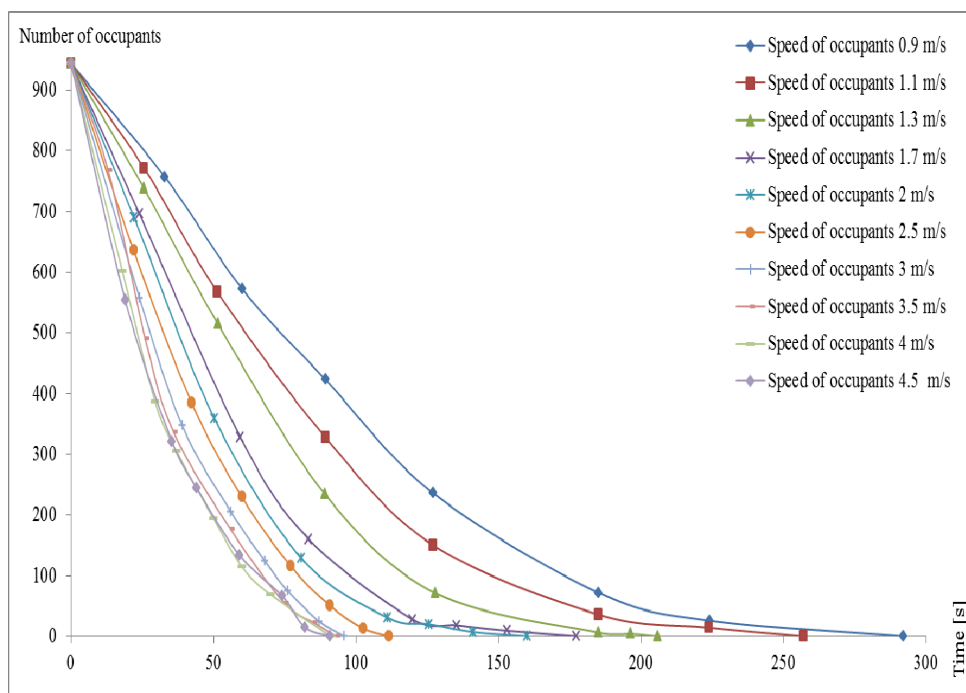


Figure 9 – Complete simulation results for the first scenario

Рис. 9 – Результаты моделирования по првому сценарию

Слика 9 – Комплетни резултати симулације за први сценарио

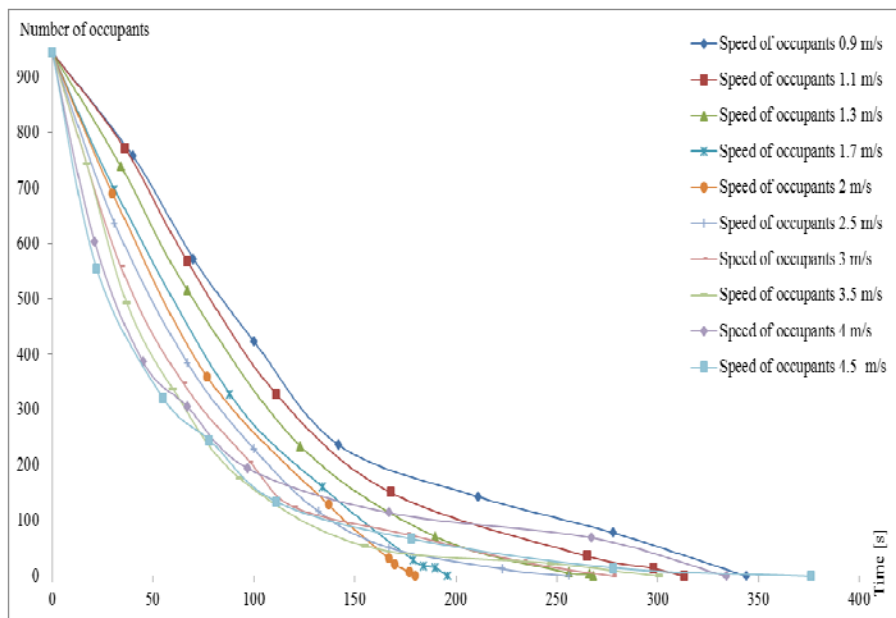


Figure 10 – Complete simulation results for the second scenario
 Рис. 10 – Результаты моделирования по второму сценарию
 Слика 10 – Комплетни резултати симулације за други сценарио

Analysis of the results

The results presented in Figure 9 show the times needed for complete evacuation of the occupants from the Tunnel in the first scenario. It is obvious that the faster occupants moved, the shorter evacuation times were. Although the occupant movement speeds were up to 4.5 m/s, that fact did not cause jams that could significantly increase the total evacuation time. The evacuation times were from 98.8 seconds to 292 seconds. It is also important to note that the realized simulation results did not take into account the influence of different gasses that could be emitted by car and bus exhaust systems - generally, the tunnel as a pass is forbidden for pedestrians, but in case of some long jams or serious accidents (hold-ups of more than several hours) it is obvious that occupants of vehicles must, in order to save themselves, leave their vehicles and try to find the nearest exit. It is usual that occupants stay in their vehicles with closed doors and windows in case of short jams (several dozens of minutes).

The results presented in Figure 10 show the times needed for complete occupant evacuation from the Tunnel in the second scenario. In

this case, the presence of collision consequences such as jams, for example, caused that the fastest occupant movements (4.5 m/s and 4 m/s) had the longest evacuation times. The evacuation time for the occupant speed of 4.5 m/s was 376 seconds, the evacuation time for the occupant speed of 4 m/s was 334 seconds, while the occupant speed of 0.9 m/s was 344 seconds. The realized simulation results did not take into account the influence of different gasses on occupants either. For some slightly higher speeds of occupants, related to the realized results, the evacuation times would probably be significantly longer. Significantly higher speeds of occupants than the realized ones could not be achieved because of several reasons such as crowds, lack of space, and panic among occupants with uncontrolled behaviour. The realized simulations presumed that all occupants were the same (in terms of height, width and speed), which in some real situations undoubtedly is not the case. In addition, the simulations did not include situations where people with different disabilities participate in evacuation, when it is also very hard to predict and determine evacuation times, routes, ways and many other important factors, even with simulation software (Jevtić, 2014, 537-541), (Jevtić, 2015a, pp.45-52), (Jevtić, 2015b, pp.545-550), (Wilson, 2015, pp.48-50). It is important to note that speeds from 3 m/s and higher are hard to achieve in the given circumstances so that they mostly have theoretical significance.

This and similar papers are a good basis for potential future investigations related to evacuation and risk analyses, where evacuation could include some other important factors such as smoke and fire directions, smoke quantity (especially CO₂, CO and other toxic gasses), different types of collisions, and others (Persson, 2002).

Conclusion

It is very hard and almost impossible to control and predict all of the parameters that road tunnel evacuation depends on. The impossibility of controlling fire and human behaviour in panic is what supports the above mentioned statement. That is the reason why particular evacuation software must be used as an important and permanent engineering tool, even in the situations when this tool is not in a position to describe or simulate completely realistic situations. Different simulation results for different scenarios present the answers or ways that show how to find a solution for a particular problem if the calculation itself does not present the solution. So, this kind of software enables many different evacuation situations to be predicted and, based on the calculated evacuation times,

the determination of the best evacuation route. This means the determination of the shortest and the safest way for people's evacuation. Also, one of the most important characteristics of this kind of evacuation prediction is a potential for fast and accurate testing and comparison of different evacuation models.

The future steps in this and similar studies should be taking into account some effects that can occur in this and similar situations such as smoke, fire, panic, obstacle avoidance and surmounting, help to others, calculation of evacuation times and determination of evacuation routes in cases when caring affected humans, etc.

This paper has been written to show the possibilities of the Terazije Tunnel evacuation prediction for different scenarios although some parameters or facts have not been included. This and similar software should and must become an obligatory engineer's tool in order to solve this kind of problems. Also, this and similar software must be permanently improved with new facts and knowledge (Jevtić, 2014, 537-541), (Jevtić, 2015a, pp.45-52), (Jevtić, 2015b, pp.545-550), (Jevtić, 2016a, pp.754-768), (Jevtić, 2016b, pp.197-208), (Jevtić, 2016c, pp.35-48), (Jevtić, 2017, pp.98-114).

References

-Automagazin. 2011. Najduži tuneli na svetu. *Automagazin*, 15 April [online]. Available at: <http://www.automagazin.rs/vesti/%209198/najduzi-tuneli-na-svetu> (in Serbian) [Accessed: 22 July 2019].

-Blic. 2015. LANČANI SUDAR Sudarilo se čak JEDANAEST vozila i autobus u terazijskom tunelu. *Blic*, 6 October [online]. Available at: <https://www.blic.rs/vesti/beograd/lancani-sudar-sudarilo-se-cak-jedanaest-vozila-i-autobus-u-terazijskom-tunelu/e18lvjw> (in Serbian) [Accessed: 22 July 2019].

Daeron, S., & Ruffin, E. 2000. Calculations for fire smoke behaviour in long rail tunnels. In: *1. International Conference "Tunnels and Underground Station Fires"*, Hong Kong, May. Available at: <https://hal-ineris.archives-ouvertes.fr/ineris-00972196/document>.

Galea, R.E. 2013. The Development and Validation of a Rail Car Evacuation Model. In: *13th International Conference and Exhibition on Fire Science and Engineering INTERFLAM 2013*, Nr Windsor, UK, pp.1013-1034, June 24-26.

Grgić, I. 2008. *Specifičnosti geodetske osnove*. Zagreb: University of Zagreb – Faculty of Geodesy. Master thesis (in Serbian).

Jevtić, B.R. 2014. Simulation of the shopping centre Zona I evacuation. *Tehnika - Elektrotehnika*, 3, pp.537-541.

Jevtić, B.R. 2015a. The evacuation possibilities of sanitary objects. *Zdravstvena zaštita*, 44(6), pp.45-52.

Jevtić, B.R. 2015b. The simulation of sanitary objects evacuation-an example of hotel Radon in Niška Banja. *Tehnika - Elektrotehnika*, 3, pp.545-550.

Jevtić, B.R. 2016a. Evacuation from tunnels: An example of the Straževica tunnel. *Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier*, 64(3), pp.754-768. Available at: <https://doi.org/10.5937/vojtehg64-9378>.

Jevtić, B.R. 2016b. Security in metro: An example for simulation of evacuation from subway. *Facta universitatis - series: Working and Living Enviromental Protection*, 13(3), pp.197-208.

Jevtić, B.R. 2016c. Simulation of evacuation situations in order to protect human lives and material property. *NBP Žurnal za kriminalistiku i pravo*, 21(2), pp.35-48. Available at: <https://doi.org/10.5937/nbp1602035J>.

Jevtić, B.R. 2017. The safety in tunnels: An example of simulated evacuation from a railway tunnel. *Bezbednost*, 59(1), pp.98-114. Available at: <https://doi.org/10.5937/bezbednost1701098J>.

Nikolić, Z. 2014. Metropolita se rodila tokom noći. *Večernje novosti*, 18 December 2014 [online]. Available at: <http://www.novosti.rs/vesti/beograd.74.html:524650-Metropolita-se-rodila-tokom-noci> (in Serbian) [Accessed: 22 July 2019].

Persson, M. 2002. *Quantitative risk analysis procedure for the fire evacuation of a road tunnel*. Lund: Lund University, Department of Fire Safety Engineering, Sweden. ISSN 1402-3504.

-Pressonline. 2013. GSP: Autobus se sam zapalio u Terazijskom tunelu. *Pressonline*, 8 October [online]. Available at: <http://www.pressonline.rs/info/beograd/288288/gsp-autobus-se-sam-zapalio-u-terazijskom-tunelu.html> (in Serbian) [Accessed: 22 July 2019].

Radović, Z. 2016. PATROLA "NOVOSTI": Od Ljiga do Preljine za manje od pola sata. *Večernje novosti*, 18 November [online]. Available at: <http://www.novosti.rs/vesti/naslovna/ekonomija/aktuelno.239.html:633679-PATROLA-NOVOSTI%20-Od-Ljiga-do-Preljine-za-manje-od-pola-sata-FOTO> (in Serbian) [Accessed: 22 July 2019].

Ronchi, E., Colonna, P., Capote, J., Alvear, D., Berloco, N., & Cuesta, A. 2012. The evaluation of different evacuation models for assessing road tunnel safety analysis. *Tunneling and Underground Space Technology*, 30, pp.74-84. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.tust.2012.02.008>.

-Telegraf. 2013. TELEGRAFOV VREMEPLOV: Beograd bez Terazijskog tunela. *Telegraf*, 12 May [online]. Available at: <https://www.telegraf.rs/vesti/beograd/692481-telegrafov-vremeplov-beograd-bez-terazijskog-tunela-foto> (in Serbian) [Accessed: 22 July 2019].

-Thunderhead engineering. 2012. *Pathfinder User Manual* [online] Available at: https://www.thunderheadeng.com/files/net/pathfinder-2012-docs/users_guide.pdf [Accessed: 21 July 2019].

Wilson, L. 2015. Planing for evacuation people with disability. *IFP-International Fire Protection Magazine*, 61, March, pp.48-50. Available at: https://drive.google.com/file/d/0Bx8esUt9L_HdYU1UejU5SXFoYVE/view [Accessed: 21 July 2019].

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭВАКУАЦИИ ИЗ ТОННЕЛЯ «ТЕРАЗИЕ»

Радое Б. Евтич

Электротехнический техникум «Никола Тесла»,
г. Ниш, Республика Сербия

РУБРИКА ГРНТИ: 73.31.17 Организация и безопасность дорожного
движения

ВИД СТАТЬИ: оригинальная научная статья

ЯЗЫК СТАТЬИ: английский

Резюме:

Эвакуация представляет собой чрезвычайно сложный и многогранный процесс, подразумевающий перемещение людей, животных и имущества из охваченного чрезвычайной ситуацией объекта или местности в безопасную зону. Различные объекты, местность или сценарии требуют и подразумевают различные соответствующие меры эвакуационной стратегии. Одним из специфических объектов для эвакуации является автодорожный тоннель. Из-за большого количества автомобилей и людей, находящихся в ограниченном пространстве, эвакуация в автодорожном тоннеле может оказаться чрезвычайно непредсказуемым и опасным заданием, о чем свидетельствует большое количество произошедших несчастных случаев. В данной связи при моделировании необходимо предусмотреть такие непредвиденные обстоятельства как: большая длина тоннеля, стремительное распространение дыма (особенно CO₂ – оксид углерода и CO – монооксид углерода) и пожар в закрытом пространстве, ограниченные возможности доступа к месту аварии и многие другие, зачастую непредсказуемые обстоятельства. Одним из целесообразных и надежных методов прогнозирования и анализа эвакуационных обстоятельств и мероприятий является разработка сценарного моделирования эвакуационных ситуаций с помощью программного обеспечения. Целью данной работы было описание эвакуационных мероприятий в автодорожном тоннеле «Теразие» в городе Белград. Программным обеспечением были охвачены разные сценарии, с учетом различного количества участников и скорости автодорожного движения.

Ключевые слова: эвакуация, моделирование, тоннель, транспорт.

СИМУЛАЦИЈА ЕВАКУАЦИЈЕ ИЗ ТЕРАЗИЈСКОГ ТУНЕЛА

Радоје Б. Јевтић

Електротехничка школа „Никола Тесла”, Ниш, Република Србија

ОБЛАСТ: саобраћај

ВРСТА ЧЛАНКА: оригинални научни рад

ЈЕЗИК ЧЛАНКА: енглески

Сажетак:

Евакуација представља веома комплексан и тежак задатак који имплицира најбезбедније, најкраће и најбрже премештање људи, животиња и материјалних добара из уgroженог објекта или локације до сигурне локације. Различити објекти, локације или сценарији захтевају и подразумевају различите адекватне евакуационе стратегије. Један од веома специфичних објеката за евакуацију је тунел за друмски саобраћај. Због присуства мноштва возила и људи на ограниченом простору, евакуација тунела за друмски саобраћај може бити екстремно непредвидив и опасан задатак, што потврђује велики број несрећа који се десило. Такође, постоје и друге околности, као што су потенцијално велика дужина тунела, брзо ширење дима (посебно CO₂ и CO) и ватре у затвореним просторима, ограничене могућности за приступ месту несреће и многе друге које је често немогуће предвидети. Један од веома добрих, економичних и сигурних начина за предвиђање и анализу евакуационих ситуација и сценарија јесте употреба симулационог софтвера. У раду је приказана евакуација из тунела за друмски саобраћај на Теразијама у Београду, за различите сценарије и различите брзине учесника.

Кључне речи: евакуација, симулација, тунел, саобраћај.

Paper received on / Дата получения работы / Датум пријема чланка: 26.02.2019.
 Manuscript corrections submitted on / Дата получения исправленной версии работы /
 Датум достављања исправки рукописа: 22.07.2019.
 Paper accepted for publishing on / Дата окончательного согласования работы / Датум
 коначног прихватања чланка за објављивање: 24.07.2019.

© 2019 The Author. Published by Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.упр.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/>).

© 2019 Автор. Опубликовано в «Военно-технический вестник / Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier» (www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.упр.срб). Данная статья в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией «Creative Commons» (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2019 Аутор. Објавио Војнотехнички гласник / Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.упр.срб). Ово је чланак отвореног приступа и дистрибуира се у складу са Creative Commons licencom (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).



СТРУЧНИ РАДОВИ
ПРОФЕСИОНАЛНЫЕ СТАТЬИ
PROFESSIONAL PAPERS

THE 110TH ANNIVERSARY OF QUEUEING THEORY: ITS APPLICATIONS IN THE MILITARY

Nebojša V. Nikolić

University of Defence in Belgrade, Strategic Research Institute,
Defense Studies Section, Belgrade, Republic of Serbia,
e-mail: nebojsa.nikolic11@mod.gov.rs,
ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0003-4875-3418>

DOI: 10.5937/vojtehg67-22460; <https://doi.org/10.5937/vojtehg67-22460>

FIELD: Logistics

ARTICLE TYPE: Professional Paper

ARTICLE LANGUAGE: English

Abstract:

The aim of the paper is to present selected examples of queueing theory applications to problems in the military and defence domain, to mark the 110th anniversary of queueing theory. The intention was to find and present more works from domestic authors published in a longer period in order to promote the theory in the domestic military and defence circles thus motivating future research related to waiting lines phenomena. In dealing with military queueing phenomena, researchers are usually faced with some specific requirements which involve a multidisciplinary approach. In the queueing theory community, it is recognized that solutions to queueing problems could be reached in three ways: by analytical, numerical and simulation methods. Not all queueing problems are solvable by analytics or by numerical mathematics and, for such problems in particular, simulation methodology is a resolving tool.

Key words: military application, queueing theory, simulation, modeling, logistics, combat, command & control, transient regime, overloading.

Introduction

The 110th anniversary of queueing theory (Erlang, 1909) is a good opportunity to make an overview of its application in various fields.

ACKNOWLEDGMENT: This work was partially supported by the Ministry of Education and Science of the Republic of Serbia under Interdisciplinary Project No.III-47029 (title: "Cost Effective Selection of New Technologies and Concepts of Defence Through Social Reforms and Strategic Orientations of Serbia in 21st Century).

The historical development of queueing theory has been presented in short by Nikolić (2008). This paper presents some applications of queueing theory for various issues in the military and defence as well as some actual trends and prospects for future research. Queueing theory has been recognized for a long time as an appropriate scientific discipline for analyzing various problems in the military domain - let us mention works of a few domestic authors (Čubra, 1977), (Rendulić, 1981), (Vojnoizdavački zavod, 1970), (Serbian Armed Forces, 1996).

Military queueing systems

Queueing theory deals with models of queueing systems (or waiting lines). Capability of queueing theory to be used for considering various problems in the military domain comes from a simple definition of a queueing system: "Any system in which arrivals place demands upon a finite-capacity resources may be termed a queueing system" (Kleinrock, 1975). Following this definition and applying it in the military domain, one can find that there are many military situations, processes and systems which could be described, presented, modeled and analyzed as queueing systems. In order to be denoted in a short and general term, all real systems, processes and situations from the military and defence domain which can be described as queueing systems are here named "military queueing systems".

There are many kinds of military queueing systems. Classified by their physical nature and characteristics, military queueing systems could be from various military sub-fields, and related to them, as follows:

- Battle situations ("serving" of arriving enemy tanks, rockets, airplanes).
- Command and control processes.
- Decision making (at individual and organizational levels).
- Weapon's systems.
- Technical items.
- Logistics functions (maintenance, transportation, supplies).
- Medical evacuation.
- Facility operations (runway that make "services" to airplane take-offs and landings; emergency medical department operations; etc).
- Peace missions of the United Nations.
- Administrative processes, etc.

Queueing system modeling consists of a few steps. The first step in studying any real system intended to be described as a queueing system is abstraction: the components of the considered real system should be recognized as clients or servers; types and intensities of input and output clients flows should be determined, as well as queueing discipline, reliability of servers, patience of clients, etc. In particular cases, a high level of abstraction is needed, for example: arriving airplanes or missiles should not be in a viewable, static “queue”, etc.

Successful abstraction leads to a conceptual model. A conceptual model should be understandable to both sides: to experts for a real system, process or situation which is the subject of the study, and to simulation experts who will provide future development and transformation of a conceptual model towards a clearly structured problem from the point of view of a methodological tool or a theory which will provide its resolution.

On the basis of common sense and supported by various military sub-fields subject matter experts, a minimal set of axioms for military queueing models can be established: (1) Engagement of military queueing systems, particularly in war missions, is finite by time; and, (2) Traffic intensity can be of any value, so there is no logical reason to place any limits on it. These axioms are particularly valid in modern warfare characterized by fast-moving combat situations, fierce by intensity, short by time, and planned with limited resources. Implementing these axioms into the study of queueing systems leads to a question of fidelity in simulation modeling of military queueing systems, as well as in cases when classical queueing theory is used. These axioms contribute to the intensified development of analytical mathematical methods as a basic approach in studying queueing models, but also to the development and application of the other two methodological approaches, i.e. numerical methods and simulation methods (which are, in fact, statistical methods). These three approaches are recognized in the referential literature (Nikolić, 2008), (Worthington, 2009).

In the following section, we offer a number of examples from the military and defence domain where queueing theory was engaged, or at least where the basic concept of queueing modeling is used.

Examples of military applications of queueing theory

Ballistic missile defence modeling. Li et al (2016), from the Chinese Air Force Engineering University, presented the simulation modeling and performance analysis of a layered ballistic missile defence

system as a tandem queueing model of type M/M/n/n. They analyzed different variants of tandem queueing systems: with two and three service phases (two and three layers of missile defence systems), and with identical and different defence weapons (variants of identical and different service channels). Also, they considered a few different scenarios with varying input values for the number of total missiles and missile detection probabilities. The overall goal of their work was to model and analyze variants of a ballistic missile defence system in order to find the best option regarding defence effectiveness. They pointed out to the limitations on the exponential nature of the stochastic dynamics of input (arrivals) and output (services) client's streams, and marked a need for future research in regard to other types of arrival and service processes.

Air Defence modeling. Yao and Ma (2017), two researchers from the Chinese Naval Academy at Dalian, modeled an air defence missile weapon system as a queueing system which consists of two phases of servicing by multichannel service facility. They tried to evaluate and compare different options of mixed deployment of anti-aircraft artillery and air defence missile weapons. They described the referent (a real system or process) as a conceptual queueing model and then simplified further analyses by adopting a hypothesis for stationary behavior of the queueing model. The use of queueing theory in air defence modeling has been a subject of research for a long time in many armies including small ones like Serbia's.

Aircraft Sortie Generation Rate. Mao et al (2013), used a multi-class closed queueing network as a model for an analysis of aircraft combat sortie generation rate ("sortie" is a specific military term used to denote a combat mission of a single aircraft, one combat flight). This is a case of modeling the engagement of carrier-based aircraft in combat missions. Due to limited space, short runways and mobility of the main platform, there are many specifics in the operational procedures for sortie generation and a number of consecutive steps for aircraft preparation and launching from the carrier to execute a delivered combat task. In its essence, this process of combat sortie generation could be modeled as a multiphase queueing system (network). Due to different types of aircraft and missions, it is a multiclass service model. In addition, due to a finite number of aircraft on a carrier, it is a closed queueing model. Naturally, these kinds of weapon systems are of primary interest for armies which already have or tend to obtain aircraft carriers. However, it is of interest for all other armies which could be faced with adversary's aircraft carriers.

Aircraft squadron servicing. Pantić (2002) considered possibilities to apply the queueing theory models in presenting and analyzing servicing activities for a supersonic aircraft squadron in a dispersed formation. The challenge was to investigate the implications of replacing the original fuelers with other types of special vehicles designed for aircraft refueling. The queueing model used was a multichannel service facility with a limited number of waiting rooms and with a simplified assumption that the system operates in a steady state.

Indirect fire weapons systems conceptual modeling. Wheeler (2005), applied the queueing models to study offensive support indirect fire weapons systems. Some others analyzed methodological procedures for analyzing modes of combat use of artillery weapons and consequent impacts on weapons maintenance systems.

Military Command and Control, decision making and staff work. Jovanović (1984), mentioned queueing theory and a simulation of queueing systems as appropriate tools for research of staff works, operations and management. Marković (2000), recognized the values of queueing models for military operations planning and staff functioning. Maksić and Mišković (1997), confirm the value of queueing theory in a list of other methods and tools used for decision making support and for research in the military domain. Leonhard et al (2010), point out the capabilities of queueing theory in the development and analysis concepts of command and control. Also, Athans (1987), one of the most prominent authors in the field of military command and control theory, clearly pointed out the relevancies and appropriateness of the concepts of queueing models and queueing theory to the issues related to perceiving, modeling and analyzing problems from the military command and control domain. Nikolić (2016), presented the reneging queues model as the starting point for developing the general model for command and control processes known as Lawson's Model of C2.

Undersea warfare. Sullivan and Grivell (2003), used queueing models with a set of various probability distributions for investigation in the field of undersea warfare. However, their model and research have potential to be used in other (non-navy) warfare tasks and situations which involve attackers and defenders in a finite time frame and with different types of probability functions.

NBC (nuclear, biological, chemical) decontamination. Forca (1992), presented an organizational process of NBC decontamination as a queueing model (servicing a number of clients with limited resources), and used a simulation methodology to conduct practical calculations in regard to system performances.

Medical evacuation (MEDEVAC). Mićović (1998) presented a queueing simulation model of military medical evacuation in a combat mission. The queueing model was characterized by multiphase servicing, multiclass clients (clients with different priorities for medical evacuation) and triage rules for a preliminary classification of casualties and assigning appropriate priority levels for evacuation. Jenkins (2017), studied MEDEVAC dispatching policies for casualties evacuation and modeled it as a heterogeneous multiphase queueing system with three classes of priority clients: priority 1 –Urgent; priority 2 -Priority; priority 3 - Routine.

Military hospital pharmacy delivery process performance evaluation. Bahadori et al (2014), conducted a descriptive and analytical study with the use of queueing theory to describe and analyze outpatient pharmacy in a military hospital, with the aim of achieving better performance with some changes in organization and resources. They identified servicing points with low server's utilization (and proposed reduction of service personnel at these points), as well as some bottlenecks where they proposed rational enlargement of service capacity (they proposed multitasking personnel for a few different but very simple operations).

Cadet's mess congestions and food delivery process modeling. Kama and Mankilik (2015), presented an application of queueing theory in a cadet mess of the Nigerian Defence Academy in Kaduna. The initial problems identified were long queues in a cadet mess, particularly during lunch, and consequently poor satisfaction of cadets with mess service. They modeled the mess process, conducted investigation with queueing theory application for more variants, and produced a concrete proposal for appropriate enlargement of specific mess resources.

Military entry control facilities operations. Dwyer (2016) modeled military entry control facilities as a queueing system and investigated how it operates, with the aim of resolving congestion problems concurrently sustaining a high level of service quality regarding security standards in particular.

Maintenance process for military technical items. Military maintenance processes have been extensively studied with many examples related to different contexts, ranging from depot maintenance in peace time conditions to field maintenance in combat missions. Petrović et al (2013), analyzed a maintenance process in a military depot, and used some empirical data for the intensity of service requirements as well as for the service process itself in order to find out weak points in the maintenance process organization. Petković et al

(1988) point out queueing theory as a methodological tool in considering organizational issues related to the maintenance of technical items. Radošević (1980) used queueing models for maintenance workshops capacity planning connected with reliability levels of technical items. Čirović (1992) considered maintenance treatment in the early phases of development of military telecommunication equipment.

Technical support of joint tactical units. Military logistics functions of maintenance and supply used to be known in the past as technical support (or technical sustainment). Under this term, many research studies were realized in the last decades of 20th century. Nikolić (1989) offered an extensive study on the efficiency of performing technical support at the level of joint tactical units (brigade) in battle conditions. Branković (1986) used the simulation methods to study a maintenance process modeled as a queueing system in order to get an insight into the performances of maintenance units in battle conditions.

Timely logistics support to military units in operations. McConnel (2018) conducted an extensive study on the problem of dropping equipment readiness due to distribution problems during military operations. The stochastic nature of the requirements for logistics support and varying service response led him to the use of queueing theory.

Some additional examples of various military queueing systems and modeling processes can be found in the literature (e.g. in Shephard et al (1988)), where other methods of operations research were used as well. One good example where a specific military problem was studied by a combined use of queueing theory and other methods of operational research is given by Kang et al (1998), from the Department for Systems Management at the Naval Postgraduate School, Monterey. They considered the naval aircraft maintenance process and presented the relations among the following disciplines: military operations planning, logistic (maintenance and supply), cost analysis, queueing theory, and simulation. Military operations planning assumes taking into account air power which is a dynamic category measured by the level of combat readiness (percentage of "ready-for-use" weapon systems in the unit). Reduction of the maintenance cycle time produces a higher level of operational availability and, consequently, higher combat readiness. Inventory levels of spare parts have a direct influence on the reduction of the maintenance cycle time: if a needed spare part is at hand, it can be used immediately; if not, the item being repaired has to wait for that spare part. On the other hand, a huge amount of spare parts across the inventory system is not a good solution because it costs too much and

produces other problems such as physical limitations at lower maintenance levels. Modeling of the entire maintenance process leads to a complex queueing model which requires a more appropriate method: simulation modeling (Kang et al, 1998).

Some actual trends and prospects for future research

What are the prospects of queueing theory application and its development in the future? The best answer to the question could be found in referential sources of scientific information and from recognized experts in the field. Some of such sources, with clear observations about the actual state of the art and good visioning of future development, are referred to in Worthington (2009), and Kingman (2009). Worthington's (2009) findings about the future development could be summarized as follows:

- more dedication to queueing models with non-exponential distributions for demands (arrivals) and servicing;
- more respect for time-dependent behavior of queueing systems;
- more care to more complex queueing models (networks);
- more fidelity in implementing complex relationships among elements inside complex queueing models;
- improving robustness and sensitivity of queueing models;
- more care to the modeling process for queueing models (thinking about "queue modeling as a discipline", (Worthington, 2009).

Kingman (2009) offered an interesting review of the development of queueing theory and indicated the connections of the queueing theory development with problems from the military and defence domains which were describable as queueing models and related to Thomas Saaty, a well-known operations researcher. He also confirms that future development of the theory will be oriented towards problems in complex queueing models (queueing networks), congestion problems, as well as models with non-exponential distributions which are problematic even in simple structure models like the model type: M/G/k (Kingman, 2009).

In order to clarify the connections among the mentioned challenges in queueing theory and corresponding queueing problems in the field of the military and defence issues, we point out the following. Military units in war are not continually engaged. Enemy tanks, rockets and airplanes are not continually in sight during wartime. One attack or defense operation is usually planned and executed for a limited period of time. The observation about the finiteness of reality in the military context is one of the keystone facts which have to be taken into account in military

modeling. Cases of heavy-traffic, saturation and overloading of service capacity (traffic intensity close to 1, equal to 1, and greater than 1), are rarely studied in the literature, but could be of interest for studies of military queueing systems. In the military domain, overloading is often a desired state: overloading enemy's capacity is a traditional condition of victory. Otherwise, one can get a wrong model. However, heavy traffic conditions and overloading can be of interest in civilian matters as well. For an owner of a queueing system, it is very desirable to sustain high utilization of service resources. On the other hand, critical traffic conditions (heavy-traffic, saturation, overloading) sometimes may appear at some points inside a complex queueing system (queueing network), and almost certainly in various kinds of emergency situations when a lot of service requirements can suddenly appear in a relatively short time.

The impact of the transient regime of the military queueing system operation is of particular importance in cases of some real queueing systems, processes and situations. Regarding military queueing systems in combat conditions, the impact of the transient regime was discussed by Nikolić (2008), while more information about the transient phenomenon in queueing behavior could be found in Nikolić (2008) and Kaczynski et al (2012). The importance of the queueing transient phenomenon for other-than-military-systems is confirmed in some novel papers as well (Gindin et al, 2014), (Tsai et al, 2017).

Conclusion

This paper presents a few examples of the applications of queueing theory in the defence and military domain. The goal is to refresh knowledge and awareness about wide possibilities of military applications of queueing theory at this special moment of the queueing theory anniversary.

Trends and prospects for the future development of queueing theory are in favor on solving challenges which we face when studying military queueing systems.

References

Athans, M. 1987. Command and control (C2) theory: A challenge to control science. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 32(4), pp.286-293. Available at: <https://doi.org/10.1109/tac.1987.1104607>.

Bahadori, M.K., Mohammadnejhad, S.M., Ravangard, R., & Teymourzadeh, E. 2014. Using Queueing Theory and Simulation Model to Optimize Hospital Pharmacy Performance. *Iranian Red Crescent Medical Journal*, 16(3). Available at: <https://doi.org/10.5812/ircmj.16807>.

- Branković, Z. 1986. *Simulacija upotrebe jedinica za održavanje tehničkih sredstava u borbenim dejstvima*. MSc thesis. Zagreb: VVTŠ KoV JNA (in Serbian).
- Čubra, N. 1977. *Kibernetika u rukovođenju razvojem oružanih snaga*. Belgrade: Vojnoizdavački zavod (in Serbian).
- Ćirović, M. 1992. Razmatranje održavanja u fazi razvoja elektronskog uređaja. *Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier*, 40(6), pp.619-626 (in Serbian). Available at: <https://doi.org/10.5937/vojtehg9206619c>.
- Dwyer, J.J. 2016. *Analysis of Military Entry Control Point Queueing*. MSc thesis in Operations Research. Ohio, USA: Air Force Institute of Technology - Wright-Patterson Air Force Base.
- Erlang, A.K., 1909. Sandsynlighedsregning og Telefonsamtaler. *Nyt tidsskrift for matematik*, 20(B), pp.33-39 (in Danish). Available at: <https://www.jstor.org/stable/24528622> [Accessed: 5 July 2019].
- Forca, B. 1992. Jedan primer u primeni simulacije procesa u borbenim sistemima. *Savremeni problemi ratne veštine*, 27, pp.78-92 (in Serbian).
- Gindin, S.I., Khomonenko, A.D., & Matveev, S.V. 2014. Program for probability-time characteristics calculation in multichannel queueing system with "warm-up" and its testing approach. *Scientific Review/Научное обозрение*, 4(1-9). Available at: <https://science-engineering.ru/pdf/2015/1/935.pdf> [Accessed: 5 July 2019].
- Jenkins, P. 2017. *Using Markov Decision Process with Heterogeneous Queueing System to Examine Military MEDEWAC Dispatching Policies*. MSc thesis in Operations Research. Ohio, USA: Air Force Institute of Technology - Wright-Patterson Air Force Base.
- Jovanović, B. 1984. *Uvod u teoriju vojnog rukovođenja*. Belgrade: Vojnoizdavački zavod (in Serbian).
- Kaczynski, W.H., Leemis, L.M., & Drew, J.H. 2012. Transient Queueing Analysis. *INFORMS Journal on Computing*, 24(1), pp.10-28. Available at: <https://doi.org/10.1287/ijoc.1110.0452>.
- Kama, H., & Mankilik, I. 2015. Application of Queueing Theory in Cadet Mess Administration: A Case Study of Nigerian Defence Academy. *Academy Journal of Science and Engineering*, 9(1), pp.89-100. Available at: <http://www.academyjsekad.edu.ng/vol0901-89-100-AJSE.pdf> [Accessed: 5 July 2019].
- Kang, K., Gue, K.R., & Eaton, D.R. 1998. Cycle time reduction for naval aviation depots. In: *1998 Winter Simulation Conference. Proceedings (Cat. No.98CH36274)*. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), pp.907-912. Dec 13-16. Available at: <https://doi.org/10.1109/wsc.1998.745089>.
- Kingman, J.F.C., 2009. The First Erlang century – and the next. *Queueing Systems*, 63:3. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11134-009-9147-4>.
- Kleinrock, L. 1975. *Queueing systems, Volume 1: Theory*. New York: John Wiley and Sons.

Leonhard, R.R., Buchanan, T.H., Hillman, J.L., Nolen, J.M., & Galpin, T.J. 2010. Concept for Command and Control. *John Hopkins APL Technical Digest*, 29(2); 157-170. Available at: <https://www.jhuapl.edu/Content/techdigest/pdf/V29-N02/20-02-Leonhard.pdf> [Accessed: 5 July 2019].

Li, L., Liu, F., Long, G., Zhao, H., & Mei, Y. 2016. Performance Analysis and Optimal Allocation of Layered Defense M/M/N Queueing Systems. *Mathematical Problems in Engineering*, 2016, pp.1-21. Available at: <https://doi.org/10.1155/2016/5915918>.

Maksić, R., & Mišković, R. 1997. Metode i tehnike koje se najčešće primenjuju kao pomoć u odlučivanju i istraživanju u vojnim organizacionim sistemima. *Vojno delo*, 49(2), pp.70-88 (in Serbian).

Mao, Z., Yu-juan, W., Chao, W., & Sheng, H. 2013. Analysis on Aircraft Sortie Generation Rate Based on Multi-class Closed Queueing Network. In: *Proceedings 2nd International Conference on Computer Science and Electronic Engineering, ICCSEE*. pp.1877-1880.

Marković, D. 2000. Priprema operacije kao oblika borbenih dejstava. *Novi glasnik*, 3-4, pp.19-22 (in Serbian).

McConnel, B.M. 2018. *Assessing Uncertainty and Risk in an Expeditionary Military Logistics Network*. PhD thesis. Raleigh, North Carolina: North Carolina State University

Mičović, B. 1998. Simulacija evakuacije ranjenika. In: *SYM-OP-IS 1998: Symposium on Operational Research*, Herceg Novi, pp.1025-1028. September 21-24 (in Serbian).

Nikolić, M. 1989. *Efikasnost funkcionisanja sistema tehničkog obezbeđenja združenih taktičkih jedinica u oružanoj borbi*. Ph.D. thesis. Zagreb: VVTŠ KoV JNA (in Serbian).

Nikolić, N. 2008. *Monte Carlo Modeling of Military Queueing Systems - Challenge of the Initial Transience*. Belgrade: Andrejevic Endowment/Strategic Research Institute.

Nikolić, N., 2016. Reneging Queues Impact on Development of Lawson's Model of Command and Control Processes. In: *SYM-OP-IS 2016: Symposium on Operational Research*, Tara, Serbia, pp.483-486. September 20-23.

Pantić, T. 2002. Possibility to apply the mass servicing theory method to supersonic aircraft squadron servicing. *Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier*, 50(6), pp.612-622 (in Serbian). Available at: <https://doi.org/10.5937/vojtehg0206612P>.

Petković, R., Ćirović, M., & Kokanović, M. 1988. *Organizacija održavanja tehničkih materijalnih sredstava*. Zagreb: VVTŠ KoV JNA (in Serbian).

Petrović, V., Mrdak, V., & Luković, B. 2013. Mass servicing theory application to the analysis of maintenance system functioning. *Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier*, 61(2), pp.159-181 (in Serbian). Available at: <https://doi.org/10.5937/vojtehg61-2001>.

Radošević, I. 1980. Model masovnog usluživanja pri planiranju kapaciteta tehničkih radionica na bazi pouzdanosti tehničkih materijalnih sredstava. *Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier*, 28(6), pp.737-742 (in Serbian).

- Rendulić, Z. 1981. *Naučnotehnički progres i naoružanje*. Belgrade: Vojnoizdavački zavod.
- Serbian Armed Forces. 1996. *Metodologija ratne veštine*. Belgrade: Serbian Armed Forces, CVŠ VJ Generalštabna škola (in Serbian).
- Shephard, R.W., & et al., 1988. *Applied operations research - Examples from defense assessment*. New York: Plenum Press.
- Sullivan, K., & Grivell, I. 2003. *QSIM: A Queueing Theory Model with Various Probability Distribution Functions*. Technical Report 11.418. Newport, Rhode Island, USA: Naval Undersea Warfare Center Division. 14 March.
- Tsai, Y.L., Yanagisawa, D., & Nishinari, K. 2017. Transient Analysis of a Series Configuration Queueing System. In: *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science 2017, Vol. II, WCECS 2017*, San Francisco, USA, October 25-27.
- Vojnoizdavački zavod. 1970. *Vojna enciklopedija*. Belgrade: Vojnoizdavački zavod (in Serbian).
- Wheeler, S. 2005. *An Application of Queues to Offensive Support Indirect Fire Weapons Systems*. Australia: Defence Science and Technology Organisation - Department of Defence. Technical Report DSTO-TR-1662.
- Worthington, D., 2009. Reflections on queue modeling from the last 50 years. Journal of the Operational Research Society, 60(Issue sup1: Special Issue), S83-S92. Available at: <https://doi.org/10.1057/jors.2008.178>.
- Yao, H., & Ma, L. 2017. The Air Defense Missile Weapon System Based on Queueing Theory Mixed Deployment Effectiveness Evaluation. In: *Proceedings of the 7th International Conference on Management, Education, Information and Control (MEICI 2017)*, Paris, France: Atlantis Press. Available at: <https://doi.org/10.2991/meici-17.2017.174>.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ В ВОЕННОЙ ОБЛАСТИ В СВЕТЕ 110-ГО ЮБИЛЕЯ

Небойша В. Николич

Университет обороны в г. Белград, Институт стратегических исследований, г. Белград, Республика Сербия

РУБРИКА ГРНТИ: 81.88.00 Материально-техническое снабжение.
Логистика

ВИД СТАТЬИ: профессиональная статья

ЯЗЫК СТАТЬИ: английский

Резюме:

Целью данной статьи является представление выборки примеров применения теории массового обслуживания в военной области, в свете 110-го юбилея создания теории массового обслуживания. В работе приведено большое количество работ отечественных авторов, опубликованных в продолжительном периоде времени, с

целью расширения представления об этой теории и продвижения ее применения в отечественных кругах военного дела. При исследовании проблем системы массового обслуживания в военной области необходимо преодолевать специфические требования, вызывающие необходимость междисциплинарного подхода. В профессиональных кругах массового обслуживания было выявлено, что решения задач о системах массового обслуживания можно найти с помощью следующих трех методов: аналитический, численные методы и метод имитационного моделирования.

Однако следует учитывать, что не все теоретические модели массового обслуживания поддаются решению с помощью аналитического или численного методов, именно при решении таких задач необходимо применять метод имитационного моделирования.

Ключевые слова: военное применение, теория массового обслуживания, имитационное моделирование, логистика, борьба, командование и контроль, переходный режим, перенапряжение.

ПРИМЕНА ТЕОРИЈЕ МАСОВНОГ ОПСЛУЖИВАЊА У ВОЈНОЈ ОБЛАСТИ НА 110. ГОДИШЊИЦУ

Небојша В. Николић

Универзитет одбране у Београду, Институт за стратегијска истраживања, Београд, Република Србија

ОБЛАСТ: логистика

ВРСТА ЧЛАНКА: стручни рад

ЈЕЗИК ЧЛАНКА: енглески

Сажетак:

У раду су приказани одабрани примери примене теорије масовног опслуживања у војној области, на 110. годишњицу рођења теорије масовног опслуживања. Намера је била да се пронађе и прикаже више радова домаћих аутора у дужем периоду како би се побољшала промоција будуће примене ове теорије, пре свега у домаћим војнострукним круговима. У бављењу проблемима система масовног опслуживања у војној области, истраживач се суочава са специфичним захтевима који узрокују потребу за мултидисциплинарним приступом. У стручним круговима теорије масовног опслуживања препознато је да се до решења у задацима о системима масовног опслуживања може доћи на три начина: аналитички, нумерички и применом симулације. Не могу се сви теоријски модели масовног опслуживања решавати аналитички

или применом нумеричких метода, па се за такве проблеме примењују методе симулационог моделовања.

Кључне речи: војна примена, теорија масовног опслуживања, симулација, моделовање, логистика, борба, командовање и контрола, прелазни режим, преоптерећење.

Paper received on / Дата получения работы / Датум пријема чланка: 09.07.2019.
Manuscript corrections submitted on / Дата получения исправленной версии работы /
Датум достављања исправки рукописа: 28.07.2019.
Paper accepted for publishing on / Дата окончательного согласования работы / Датум
коначног прихватања чланка за објављивање: 30.07.2019.

© 2019 The Author. Published by Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier
(www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.упр.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/>).

© 2019 Автор. Опубликовано в «Военно-технический вестник / Vojnotehnički glasnik / Military
Technical Courier» (www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.упр.срб). Данная статья в открытом доступе и
распространяется в соответствии с лицензией «Creative Commons»
(<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2019 Аутор. Објавио Војнотехнички гласник / Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier
(www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.упр.срб). Ово је чланак отвореног приступа и дистрибуира се у
складу са Creative Commons licencom (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).



MULTINATIONAL LOGISTICS CADET EXERCISE FOURLOG

Marko D. Mićević^a, Milan N. Đorđević^b, Aleksandar B. Ilić^c, Nemanja N. Pavlović^d, Andrej J. Pinčir^e, Vlada S. Sokolović^f, Marjan A. Milenković^g

^a University of Defence in Belgrade, Military Academy, Department for Military Mechanical Systems, Belgrade, Republic of Serbia, e-mail: markonilogistika@gmail.com, ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0002-4562-2909>

^b University of Defence in Belgrade, Military Academy, Department for Military Mechanical Systems, Belgrade, Republic of Serbia, e-mail: milandjordjevicva@gmail.com, ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0002-8054-3974>

^c University of Defence in Belgrade, Military Academy, Department for Military Electronic Systems, Belgrade, Republic of Serbia, e-mail: ackonislja@gmail.com, ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0003-1291-4267>

^d University of Defence in Belgrade, Military Academy, Department for Logistics, Belgrade, Republic of Serbia, e-mail: berzerker996@gmail.com, ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0003-0708-7877>

^e University of Defence in Belgrade, Military Academy, Department for Logistics, Belgrade, Republic of Serbia, e-mail: a.pincir@gmail.com, ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0002-2634-2645>

^f University of Defence in Belgrade, Military Academy, Department for Logistics, Belgrade, Republic of Serbia, **corresponding author**, e-mail: vlada.sokolovic@va.mod.gov.rs, ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0003-0782-0506>

^g University of Defence in Belgrade, Military Academy, Department for Logistics, Belgrade, Republic of Serbia, e-mail: marjan.milenkov@va.mod.gov.rs, ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0003-2054-0525>

DOI: 10.5937/vojtehg67-21983; <https://doi.org/10.5937/vojtehg67-21983>

FIELD: Military logistics, Training through simulations

ARTICLE TYPE: Professional Paper

ARTICLE LANGUAGE: English

Abstract:

In order to be prepared for the performance of functional duties after graduating from the Military Academy, military cadets participate in multinational cadet exercises. One of these exercises is the multinational logistics training exercise FOURLOG. This paper presents a brief description of the history of the mentioned cadet exercise, its organization and scenario as well as an overview of the tasks that cadets deal with in

the roles of managing and executive logistics bodies. The experience gained during many years of participation of the cadets of the Military Academy, University of Defense in Belgrade at the above exercise is given as well.

Key words: exercise, logistics, training, education, international military cooperation, FOURLOG.

Introduction

Given the strategic commitment of the Republic of Serbia (RS) to the membership in the European Union (EU), it is clear that it is necessary to go towards more intensive security cooperation between the RS and the EU. Such cooperation contributes to the mutual interests of these entities, with the interest of the RS to create a basis for its own development and strengthening stability in the region and in the wider environment (Stojković, 2010).

Depending on the type and intensity of security challenges, risks and threats, among other things, the defense interests of the RS are protected by building a reliable partnership and by participating in multinational operations to build and preserve peace in the region and the world (Stefanović & Forca, 2015). In line with the above, the members of Serbian Armed Forces are engaged in several missions under the mandate of the EU and the United Nations (UN). For this reason, the protection of the interests of the RS through international military cooperation requires adequate preparation of military cadets, future officers of the Serbian Armed Forces.

Improvement of the ability of future officers to work in the international environment as well as familiarization with the organization and technology of work in foreign armed forces are also achieved through the organization and realization of various joint exercises (Andrejić et al, 2017). International cadet exercises provide an opportunity to learn about foreign armaments and enable the assessment of applied knowledge and skills acquired during schooling. In doing so, they contribute to the improvement of linguistic skills, adoption of military terminology, and mastering of various procedures and team work, with the aim of training for the international scene (Persson, 2001).

When it comes to cadets, future officers, "exercises" involve the training of cadets since assignments are not realized independently, but through the supervision and leading of teachers (Venekei, 2008).

The aim of this paper is to present the origins and the development of the FOURLOG training exercise, its organization and scenario, as well

as to give a review of the key tasks that cadets solve during the exercise in the roles of managing and executive logistics bodies.

Concept of the FOURLOG exercise

The multinational logistics cadet exercise FOURLOG has a tradition of almost two decades. The first exercise was realized in 2001, and the organizers of the exercise were the Defense University in Brno (Czech Republic) and the Budapest University of Public Administration (Hungary). A few years later, members of the Logistics School from Vienna (Austria) took part in the exercise. Since 2011, cadets of logistics of the Military Academy, University of Defense, Belgrade, have participated in the exercise (Venekei, 2015).

The cadet exercise FOURLOG was organized with the aim of preparing cadets, future logistics officers, for performing tasks in multinational operations (Pap & Venekei, 2018), (Venekei, 2011). During the exercise, cadets receive various tasks that they deal with in the role of logistics team commanders and logistics management bodies in accordance with the specialties for which they are educated.

The problems that the cadets solve during the exercise are related to:

- the deployment and development of logistic units in the field,
- logistic support at specific positions and during movements of units,
- the work of logistics management bodies during the operation planing process (understanding and interpretation of positions and roles of both individuals and logistic units during operations, logistic support (LS) in space and time, and LS organization through the functional areas of logistics),
- planning logistic support in the preparation of units for engagement in the zone of operation,
- scheduling logistic support during the operation execution,
- usage of software tools throughout the LS planning process,
- understanding of the organization and operation of logistics elements during the operation.

The exercise was designed to cover a wide range of logistic problems in peacekeeping operations, and the realization of the exercise itself takes place in three different locations, through three phases:

- The preparation phase is implemented in Austria, and is aimed at familiarizing cadets with the generation of forces, the process of

establishing a mission, the decision-making process and the use of logistics units during the operation;

- The LS planning and organization phase is implemented in Hungary, where planning and organization of logistic support is carried out;
- The logistic support implementation phase is implemented in the Czech Republic where cadets train the deployment of units, protection and movement of units in the city, and the implementation of LS. They also get acquainted with the place and role of the national support element.

According to the concept, the exercise lasts for two weeks. The exercise scenario is adapted to a peace support operation under the UN mandate, and the operation is carried out in an imaginary country in the territory of Central Europe with real geographical data.

According to the scenario, the UN made a decision to establish a UN mission in the imaginary state of EASTLAND which concluded the agreement between the conflicting parties on the termination of hostilities and the consent to deploy two UN divisions in their own territory. Based on a UN resolution, a decision was made to form corps called "EASTLAND FORCES - EFOR", where one of the brigades (ACHSPKBDE) is an imaginary unit in the exercise. The organizational structure of the unit is shown in Figure 1.

The task of the EFOR unit is the disarmament of paramilitary formations, ensuring the implementation of the cease of hostilities, securing peace negotiations, supporting internally displaced people, restoring infrastructure, preventing arms smuggling, and protecting the state borders of EASTLAND.

Based on the above scenario, cadets are divided into several groups where, through the roles of logistics managing and executive bodies, at the battalion level, they solve the tasks of planning, organizing and implementing logistic support.

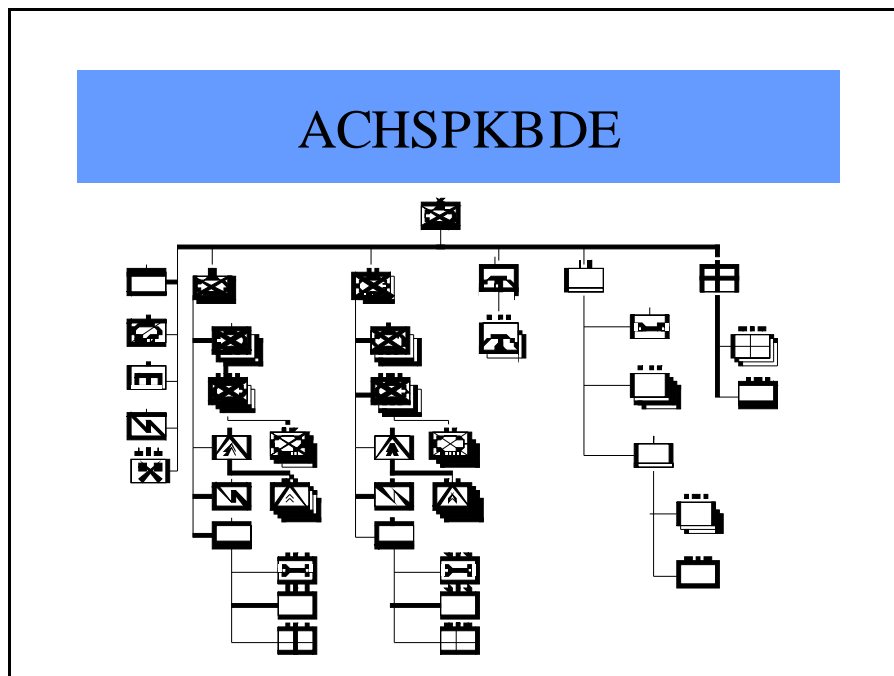


Figure 1 – Organizational structure of the brigade
 Рис. 1 – Организационная структура бригады
 Слика 1 – Организацијска структура бригаде

Realization of the FOURLOG exercise

As already mentioned, the exercise is realized in three phases. The first phase includes the preparatory part of the exercise, where cadets are introduced to the script, the situation in fictitious states and the UN decision on the establishment of the mission. The task of the cadets is to analyze and evaluate logistic support of the battalion, based on the available data, within the multinational brigade. Based on the analysis, the cadets prepare reports on the most important issues and risks that influence the execution of logistic support during the deployment phase of the forces and the execution of the operation.

The content of this part of the exercise is:

- an overview of the general and detailed situation on the ground,
- getting acquainted with the general and special tasks of the imaginary units,
- getting acquainted with the general and special tasks of LS,

- mission analysis, with an emphasis on the factors that influence logistic support.

The goal for the cadets in this phase of the exercise is to understand the position and role of the logistics bodies and units in the upcoming operation, as well as the intentions of the superior command. Accordingly, it is necessary to determine the major activities until the establishment of the mission, to understand the assigned tasks and define the performed ones, and to develop a plan of activities of the logistics bodies and units until the task is completed. The mission analysis is carried out using a SWOT (Strengths, Weakness, Opportunities, Threats) analysis adapted to the needs of the logistics management staff at the tactical level.

In the plan of activities of logistics bodies, it is necessary for cadets to define the key LS activities and the critical times for the execution of the tasks, with all possible limitations. During the analysis, cadets take into account the limitations in space and time during the LS implementation in order to define more fully the main activities, assignments and tasks performed. The quantification of these constraints is done using the so-called 4D (Destination, Distance, Duration, Demand) analysis shown in Figure 2. This analysis requires from the cadets in the management role to determine the distribution of forces in the field, the supply lines between the supply zone and the zone of responsibility of the units, the duration of the activity from issuing an order to the deployment in the zone of responsibility, as well as activities within the zone of responsibility itself. Also, the analysis of cadets should also provide answers to the questions arising from the logistic requirements arising from the above activities. Cadets are given the opportunity to identify and define potential logistic requirements without any constraints and in accordance with the acquired knowledge, personal abilities and available time.

The definition of logistic requirements begins with the analysis of individual logistics functions, followed by the analysis of individual activities within the LS functions. Cadets calculate budget for supply needs by classes of supply, plan maintenance of materiel up to arriving in the zone of operation, transport organization, etc. An output document for the mission analysis is shown in Table 1.

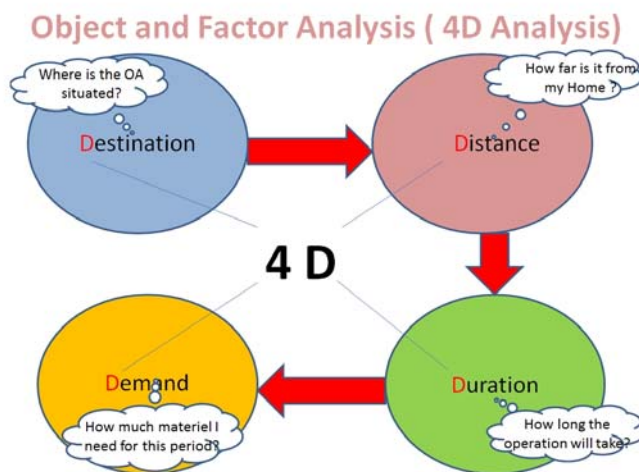


Figure 2 – Logistics 4D2 Analysis
Рис. 2 – Логистический 4Д2 анализ
Слика 2 – Логистичка 4Д2 анализа

Table 1 – Mission Analysis at the Tactical Level
Таблица 1 – Анализ миссии на тактическом уровне
Табела 1 – Анализа мисије на тактичком нивоу

INDIVIDUAL POSITION AND ROLE		
THE AIM OF THE SUPERIOR COMMAND:		
GIVEN TASKS	CRITICAL TIME/ACTIVITIES	
PERFORMED TASKS	CONSTRAINTS	NOTES
CRITICAL TASKS		
FINAL STATE		

During this phase of the exercise, cadets should recognize and define logistic requirements in a real and incompletely defined environment. Through such tasks, which have many unknowns, critical thinking is necessary in accordance with the principles of use of logistic

capacities. In this way, each proposed solution is considered as a potential variant of the use of logistics resources; cadets, therefore, are not expected to have correct solutions, but to produce solutions in line with the principles of organization and operation of the logistics bodies and units.

A special activity at this stage of the exercise is the presentation of procedures for the deployment of elements of logistic support on the ground, performed by the professionals of the mechanized battalion of the Austrian army in Grosmitel. What is presented are the elements of the sections for fuel and ammunition supply, mobile machine shops for vehicle maintenance, procedures for recovering and evacuating combat vehicles (Figure 3) as well as the elements of the food and water sections.



Figure 2 – Evacuation of a combat vehicle by a towing train

Рис. 3 – Эвакуация боевого транспортного средства буксирным составом

Слика 3 – Евакуација борбеног возила вучним возом

In the second phase of the exercise, according to the scenario, the cadets form a working map, and with the help of the GeoMan software from the LOGFAS software package, show the spatial situation, Figure 4. In the GeoManager module, the structure of the forces is formed, the logistics capacities are defined, the infrastructure objects of importance for the execution of the operation are entered as well as all the key geographical parameters of space of importance for carrying out the

upcoming operation. The module itself has a large number of tools for defining individual and group key elements such as object type, purpose, exact location, affiliation, capacity, etc.

The LOGFAS software package allows a detailed definition of the organizational structure and a formation of units regarding personnel and equipment, generated using a special module with a database of tactical, technical and logistic parameters of assets and formation elements of units, Logistics Data Management (LDM) , Figure 5.

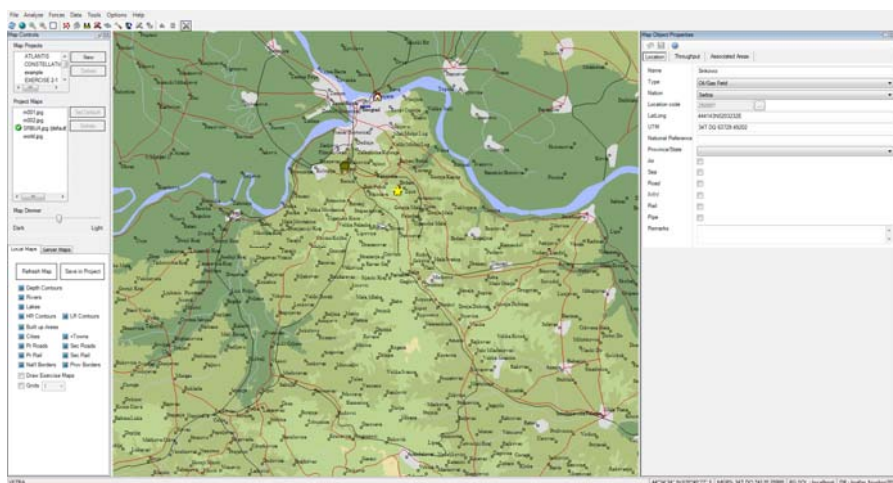


Figure 4 – GeoMan Module

Рис. 4 – Модуль GeoMan

Слика 4 – Модул GeoMan

In the LDM module, the structure of a particular unit from the lowest to the highest level is formed. In this context, for each unit separately, based on the materiel formation, a list of all related assets (weapons, artillery, vehicles, equipment, etc.) is drawn up. Then, personnel and materiel are matched in order to gain complete insight into the personnel and materiel formation of units.

For the units thus formed, the software package offers various options such as: defining the route, scheduling transport at the tactical, operational and strategic levels, scheduling the supply by materiel classes, controlled distribution of information to different subjects, etc.

At this stage of the exercise, in addition to the above activities, cadets working in teams should also plan the transport of units within the operation zone. In addition, cadets develop plans to send units to the assigned zone of responsibility, (Figure 6), and calculate the required

amount of material resources (fuel, food, water, etc.) for the task to be accomplished.

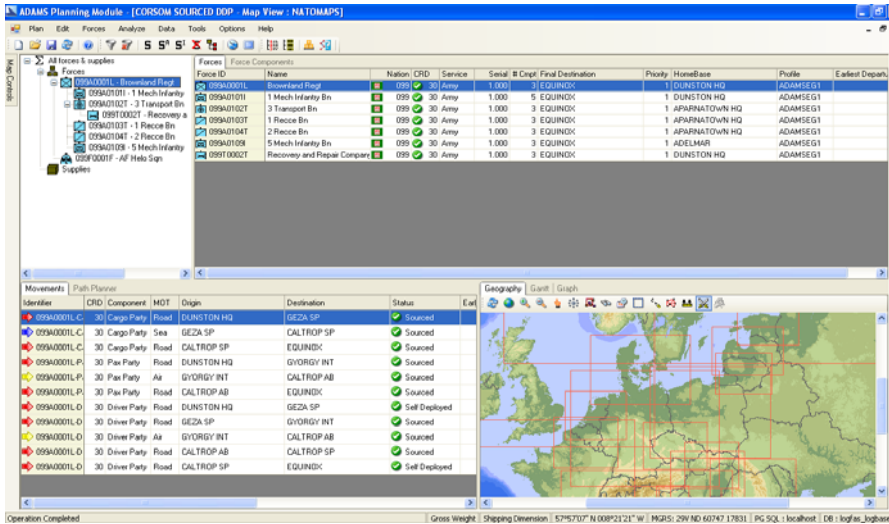


Figure 5 – LDM software package
 Рис. 5 – Пакет прикладных программ LDM
 Слика 5 – Софтверски пакет LDM

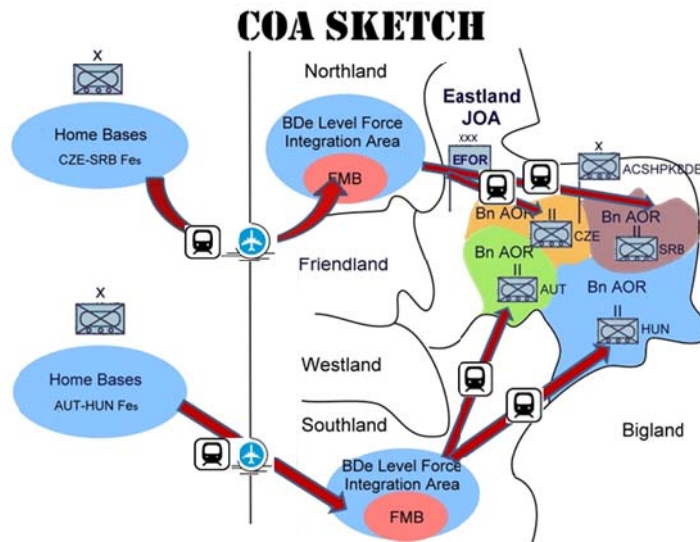


Figure 6 – Plan of sending units to the area of responsibility
 Рис. 6 – План направления подразделений в зону ответственности
 Слика 6 – План упућивања јединица у зону одговорности

According to the imaginary scenario, tasks in the field of supply, maintenance, transport and health are set in the operation zone. One of the tasks is also logistics reconnaissance in order to get acquainted with the logistic capacities in the assigned zone of responsibility. The reconnaissance is conducted in coordination with representatives of local authorities who are prepared in advance by the teachers of the Budapest University of Public Service. Information collected during the reconnaissance is entered into the GeoManager module, passed to the superior command, and used in the logistic support planning process.

At this stage, cadets are also given the task of organizing emergency shelters and logistic support for internally displaced people. The task is to provide shelters, food and water supply, transport, health care, etc. Such a task imposes a need for cooperation with various structures in the mission, such as local authorities, civilian-military cooperation, police forces, etc. The problem posed this way allows cadets to gain insight into the complexity of logistic support of peacekeeping operations, as logistic requirements often come outside of the organizational structure and can be outside military frameworks. All this imposes a need for a more complex consideration of the issues of preparing personnel for participation in peacekeeping operations.

In the third phase of the exercises, cadets are given a supposed scenario in which the tactical situation has changed. The neighboring country BIGLAND has reorganized part of its forces - a mechanized battalion - on the northeastern border with EASTLAND. In response to such activities, the multinational command issued an order to reassign units in a possible direction of the attack from the territory of BIGLAND. Such a response from the multinational command aims at preventing a possible conflict, intrusion into the EASTLAND territory, and the prevention of combat support to the paramilitary forces of EASTLAND, as shown in Figure 7.

Cadets are assigned the task to plan and organize the transfer to the new zone of responsibility in the roles of the logistics authorities of the imaginary units. This task is realized through the following phases:

- Planning the movement, in accordance with realistic constraints and conditions on the ground;
- Calculation of the required amount of material resources (fuel, food, water, etc.) during the march;
- Determination of control points and formation of stations for fuel supply along the direction of movement of units;
- Commander's reconnaissance of the area of deployment of logistic units;
- Giving reports on the completed tasks.

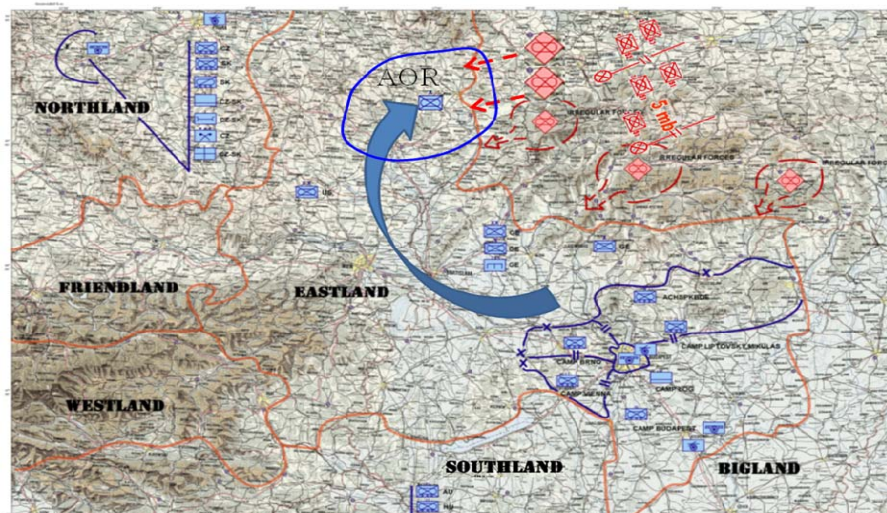


Figure 7 – Tactical situation at the beginning of the third phase of the exercise
 Рус. 7 – Тактическая обстановка в начале третьего этапа учений
 Слика 7 – Тактичка ситуација на почетку треће фазе вежбе

A special activity at this stage of the exercise is a practical training of cadets in the organization of fuel and ammunition supply stations, the organization of combat support of both stationary and moving logistical units, procedures for the evacuation of damaged and defective assets as well as the organization and technology of work in logistic units. A detail of cadets' activities in solving tasks of logistic support planning is shown in Figure 8.

A cadets' task is to set critical times (starting, stopping, reaching the destination), critical points along the direction of movement, supply points, and procedures in different situations during the march.

Depending on the assigned direction of movement and the characteristics of materiel from particular units, cadets calculate the required amount of fuel to supply the units on the move. Then, they determine suitable areas for the organization of fuel supply points along the direction of movement. In doing so, they must take care to ensure that refueling is carried out in such a way that there is no congestion and grouping of vehicles at these locations, primarily for security reasons. It is also necessary to predict the dynamics of fuel filling and consumption so that technical assets reach the destination with a fuel reserve for at least one day of combat by operating budget units (corresponding to a quantity of 0.2 tank filling). Based on the available and calculated parameters, cadets produce a march chart that they present during the referral.



Figure 8 – The cadets' work on solving logistics support planning tasks
 Рис. 8 – Курсанты решают задачи по планированию логистической поддержки
 Слика 8 – Рад кадета на решавању задатака планирања логистичке подршке

Upon arrival in the next scheduled area, cadets in the role of logistics executive organs organize and implement command reconnaissance. Reconnaissance is carried out at several different locations in order to assess the situation on the ground for the needs of logistic units. Each cadet group is supervised by a certain number of teachers of the host country. After reconnaissance and a decision made on the logistic capacity allocations, cadets prepare their reports and present their own solutions to teachers.

Experience from the previous exercises

After analyzing the exercises in the period from 2012 to 2019, the following conclusions can be drawn:

- During a two-week cadet training exercise, conditions are created for cadets to improve their communication skills in English language, especially in military and technical terminology.

- During the exercises, the cadets had a wish to prove their worth and display the quality of the acquired knowledge during the education at the Military Academy. This was also noted during the evaluation of cadets' work by teachers and instructors from foreign countries, who especially emphasized the exceptional preparedness, motivation and capability of cadets of the Military Academy from the Republic of Serbia.

- Preparation of the Military Academy cadets for the participation in the exercise changed from year to year, in accordance with the acquired experience. In 2014, 60 hours of teacher and cadet work were planned, with 20 hours of individual work of cadets. From 2016, 20 hours of preparations with a teacher have been allocated together with 20 hours of independent work. The preparations include the introduction of cadets to peacekeeping operations, training for work in the LOGFAS software package, familiarization with the rules of engagement of units in peacekeeping operations, significance of cultural differences, as well as the technology of work of logistics staff and units in peacekeeping operations. Based on the previous exercises, it is concluded that this kind of cadet preparation has been established in an optimal way, since the cadets can easily engage in solving tasks during the exercise.

The collected materials from the previous exercises are included in the Logistics Course content in order to improve the logistics practice, as well as to prepare next generations of cadets for participation in the FOURLOG exercise.

Conclusion

Participation in the multinational logistics training program FOURLOG is useful for the Military Academy cadets for their future duties after graduating.

This cadets' exercise allows them to learn more about the methods of cadet education in foreign higher military education institutions, about their cadets' knowledge, skills and abilities. The exercise is based on teamwork in an international environment where personal capabilities come to the fore in the field of the application of academic and practical knowledge acquired during schooling, as well as in the field of communication, especially in the readiness to take responsibility and leadership in an incompletely defined and uncertain environment.

The content of the exercise described is based on practical experience and the tasks are adapted to the cadets' level of knowledge and skills. Although the tasks represent segments of problems encountered by logistics authorities in international peacekeeping

operations, they allow cadets to gain insight into logistics requirements with all positive and negative sides, which is one of the goals of the exercise itself.

Based on the past experience, it can be said that the participation of the Military Academy cadets in the FOURLOG exercise was commented positively, especially in terms of the cadets' motivation for work, desire to excel, applied knowledge and skills, and the use of software tools that are not otherwise used in domestic practice. Besides cadet training, this exercise helps in building up the reputation of the institution from which they come from and, consequently, the reputation of the Republic of Serbia, which is one of the ways of protecting the interests of the state through international military cooperation.

References

Andrejić, M., Milenković, M., & Sokolović, V. 2017. Školovanje logističkog kadra na evropskom putu Republike Srbije. *Vojno delo*, 69(1), pp.217-231 (in Serbian). Available at: <https://doi.org/10.5937/vojdolo1701217A>.

Pap, A., & Venekei, J. 2018. The innovative elements of the conduct of fourlog logistics training 2018 and their application in military higher education. *Hadmérnök*, 13(2), pp.105-116.

Persson, S.G. 2001. Interoperability through Education, Training and Exercises-Simulations as a Means for Regional Cooperation with PfP Simulation Network as an Example. In: *The 5th International Command and Control Research and Technology Symposium, Modeling and Simulation Track*. Available at: http://dodccrp.org/events/5th_ICCRTS/papers/Track2/072.pdf [Accessed: 21 July 2019].

Stefanović, S., & Forca, B. 2015. Preduslovi i neophodne mere za efikasno i efektivno učešće Vojske Srbije u misijama i operacijama zajedničke bezbednosne i odbrambene politike EU. *Vojno delo*, 67(3), pp.222-250 (in Serbian). Available at: <https://doi.org/10.5937/vojdolo1503222s>.

Stojković, B. 2010. Bezbednosni aspekti uključenja Republike Srbije u Evropsku Uniju. *Vojno delo*, 62(3), pp.166-189 (in Serbian).

Venekei, J. 2008. Experiences in the application of LOGFAS (Logistics Functional Area Services) in the Multinational Logistics Training Program Fourlog. *AARMS - Academic and Applied Research in Military Science*, 7(4), pp.607-616.

Venekei, J. 2011. Lessons learned from the execution of the Multinational Logistics Training Program FOURLOG 2011. *Hadmérnök*, 6(4), pp.276-281.

Venekei, J. 2015. *A katonai logisztikai ellátási lánc koncepció fejlesztésének és alkalmazásának lehetőségei a Nemzeti Közszolgálati Egyetem alap- és mesterszakjainak multinacionális gyakorlati képzési programjaiban*. Ph.D. thesis. Budapest: Nemzeti Közszolgálati Egyetem - Hadtudományi Doktori Iskola (in Hungarian). Available at: <https://doi.org/10.17625/NKE.2015.018>.

МЕЖДУНАРОДНЫЕ КАДЕТСКИЕ ЛОГИСТИЧЕСКИЕ УЧЕНИЯ „FOURLOG“

Марко Д. Мичевич^а, Милан Н. Джорджевич^а,
Александар Б. Илић^б, Неманя Н. Павлович^в, Андрей Й. Пинчир^в,
Влада С. Соколович, **корреспондент**^в, Марьян А. Миленков^в

^а Университет обороны в г. Белград, Военная академия, Департамент военного механического инжиниринга, г. Белград, Республика Сербия

^б Университет обороны в г. Белград, Военная академия, Департамент военного электронного инжиниринга, г. Белград, Республика Сербия

^в Университет обороны в г. Белград, Военная академия, Департамент логистики, г. Белград, Республика Сербия

РУБРИКА ГРНТИ: 78.03.00 Учения о войне и армии

ВИД СТАТЬИ: профессиональная работа

ЯЗЫК СТАТЬИ: английский

Резюме:

Одним из важнейших факторов подготовки курсантов к их будущей профессиональной деятельности по завершении Военной академии является их участие в международных кадетских учениях. В данной работе представлена международная кадетская программа учений по логистике под названием „FOURLOG“. В статье также кратко описана история создания данных учений, организация, порядок проведения и сценарии, приведен обзор логистических задач, которые распределяются по ролям с учетом обязанностей управленческих и исполнительных членов логистического звена, а также описан опыт курсантов Военной академии, Университета обороны в Белграде, приобретенный в течение многолетнего участия в данных учениях.

Ключевые слова: учения, логистика, тренировка, образование, международное военное сотрудничество, FOURLOG.

МЕЂУНАРОДНА КАДЕТСКА ЛОГИСТИЧКА ВЕЖБА „FOURLOG“

Марко Д. Мићевић^а, Милан Н. Ђорђевић^а,
Александар Б. Илић^б, Неманја Н. Павловић^в, Андреј Ј. Пинџир^в,
Влада С. Соколовић, **аутор за преписку**^в, Марјан А. Миленков^в

^а Универзитет одбране у Београду, Војна академија, Катедра војномашинског инжењерства, Београд, Република Србија

^б Универзитет одбране у Београду, Војна академија, Катедра војноелектронског инжењерства, Београд, Република Србија

^в Универзитет одбране у Београду, Војна академија, Катедра логистике, Београд, Република Србија

ОБЛАСТ: војна логистика, обука путем симулације

ВРСТА ЧЛАНКА: стручни рад

ЈЕЗИК ЧЛАНКА: енглески

Сажетак:

Ради што боље припреме за обављање функционалних дужности након завршетка Војне академије кадети учествују на међународним кадетским вежбама. Једна од таквих је и међународна кадетска логистичка вежба „FOURLOG“. У раду је представљен кратак историјат ове кадетске вежбе, њена организација, сценарио и преглед задатака које кадети решавају у улогама управних и извршних органа логистике. Такође, наводе се и искуства стечена током вишегодишњег учења кадета Војне академије Универзитета одбране у Београду на овој вежби.

Кључне речи: вежба, логистика, обука, образовање, међународна војна сарадња, „FOURLOG“.

Paper received on / Дата получения работы / Датум пријема чланка: 02.06.2019.

Manuscript corrections submitted on / Дата получения исправленной версии работы / Датум достављања исправки рукописа: 19.08.2019.

Paper accepted for publishing on / Дата окончательного согласования работы / Датум коначног прихватања чланка за објављивање: 21.08.2019.

© 2019 The Authors. Published by Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.упр.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/>).

© 2019 Авторы. Опубликовано в «Военно-технический вестник / Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier» (www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.упр.срб). Данная статья в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией «Creative Commons» (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2019 Аутори. Објавио Војнотехнички гласник / Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.упр.срб). Ово је чланак отвореног приступа и дистрибуира се у складу са Creative Commons лиценцом (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).



САВРЕМЕНО НАОРУЖАЊЕ И ВОЈНА ОПРЕМА
СОВРЕМЕННОЕ ВООРУЖЕНИЕ И ВОЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ
MODERN WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT

Девети међународни сајам наоружања и војне опреме
„Партнер 2019”

Међународни сајам наоружања и војне опреме „Партнер 2019” ове године трајао је од 25. до 28. јуна у халама 1 и 4 Београдског сајма, односно на отвореном простору испред хале 1.

Покровитељ сајма „Партнер 2019” традиционално је Министарство одбране Републике Србије, суорганизатор јавно предузеће „Југоимпорт СДПР”, које ове године обележава 70 година постојања, а извршни организатор је Београдски сајам. Ове године наступило је укупно 128 излагача, од којих је 96 било из Републике Србије.

Отварање овогодишњег сајма обележила је и примопредаја првог хеликоптера „Н-1145М” Ратном ваздухопловству и противваздухопловној одбрани Војске Србије. Значајно је истаћи и да је овом приликом извршни директор компаније „Airbus Helicopters” уручио сертификат за одржавање хеликоптера типа „газела” Ваздухопловном заводу „Мома Станојловић”.

Основни циљ сајма јесте представљање наоружања и војне опреме националних произвођача и произвођача из иностранства, остваривање пословне и научне сарадње, размена искустава између стручњака из ове области, односно стварање позитивног амбијента за покретање иницијатива за сарадњу и разумевање.



Противтенковски систем „РАЛАС”, монтиран на вишенаменско возило 8×8 из серије „Лазар”, произвођача „Југоимпорт СДПР”. Фото: Милош Јевтић

Међу излагачима из Републике Србије централно место свакако је припало јавном предузећу „Југоимпорт СДПР”. Представљени су различити системи, попут ракетног система „АЛАС”, намењеног за гађање покретних и непокретних циљева на копну и води, затим самоходна хаубица „НОРА Б - 52”, калибра 155 mm, модернизована борбено-окопна возила 4×4 „М- 11”, „М-15” у различитим конфигурацијама,¹ вишенаменска возила точкаши 8×8 из серије „Лазар” у различитим моделима и конфигурацијама, међу којима је посебно интересантно било приметити конфигурацију са противтенковским ракетним системом „РАЛАС”, који располаже двома платформама са по четири контејнера. Систем је примарно намењен за дејства против тенкова, оклопљених возила, утврђења и командних центара непријатеља, а може се монтирати и на хеликоптере, оклопна возила и мања пловила. Увек запажено је и вишенаменско оклопно борбено возило 4×4 „М-16 Милош”, које је било изложено са даљински управљаном борбеном станицом ДУБС.

Своје производне програме представили су и „Застава оружје”, „Први партизан а.д.”, „ППТ – наменска а.д.”, „Јумко а.д.”, „Телеоптик жироскопи д.о.о.”, „Трајал корпорација а.д.”, „Sova Night Vision Systems д.о.о.”, „Хорус д.о.о.”, „Демакс д.о.о.” и бројни други. Гужва и велико интересовање лако се уочавала на штанду „Техничког ремонта а.д.” из Братунца, из Републике Српске, посебно за полуаутоматске пиштоље из серије „РС9 Вампир”, у калибру 9 mm Parabellum, односно за вишенаменско оклопно возило „Деспот”.



Полуаутоматски пиштољ „РС9 Вампир” у калибру 9 mm. Фото: Милош Јевтић

¹ На отвореном простору, испред хале 1, посетиоци су се могу упознати са карактеристикама БОВ-а која су на задужењу у јединицама Жандармерије Републике Србије, односно Специјалне антитерористичке јединице (САЈ).

На штанду произвођача „Јумко а.д.“ били су изложени различити комплекти опреме, поред осталих, комплет намењен јединицама Жандармерије, као и комплет заштитне балистичке опреме „Т – 18”², који је испоручен јединицама Специјалне бригаде, а који укључује „High Cut” балистички шлем са IIIА нивоом балистичке заштите, носач балистичких плоча (енг. plate carrier) са нивоом заштите IV (Stand Alone), заштитне балистичке наочаре, заштитни балистички појас са опасачем и друге елементе тактичке опреме. Излагач „Демакс д.о.о.” представио је феноменалне системе реномираних произвођача попут „SIG Sauer”, „Steyr Arms”, као и „Česká zbrojovka Uherský Brod”, па су се присутни могли упознати са атрактивном „Steyr SSG M1”, у калибру .308 Winchester, затим аутоматским пушкама из серије „SIG 516” у моделима „G2”, „Patrol FDE”, оба у калибру 5,56 mm НАТО, као и системима „MPX” у калибру 9 mm и „MCX” у калибру 5,56 mm, полуаутоматским пиштољем „CZ P – 07” и др. Веома интересантан био је и систем необичног изгледа „DroneGun Tactical”, произвођача „DroneShield Ltd”, који се користи за преузимање контроле над даљински управљаном беспилотном летелицом типа „дрон” и њеним приземљивањем. Палета „Заставе оружје” је ове године била богатија за модуларни систем аутоматске пушке „М-17”, намењен за два пушчана калибра – 7,62×39 mm, односно 6,5×39 mm Грендел.



Део програма „Tactix”, произвођача „Хорус д.о.о.” Фото: Милош Јевтић

² Већина елемената овог комплекта израђена је у дигиталној маскирној шари „М- 10”, док је неколико, нпр. заштитне рукавице, израђено у једнобојној зеленој нијанси.

Пријатно изненађење овогодишњег сајма „Партнер 2019” свакако је програм „Tactix”, који је по први пут представио „Хорус д.о.о.”. Наиме, у питању је производни програм намењен за професионалне припаднике полиције и војске, пре свега за припаднике јединица за специјалне намене. Производи програма креирани су према највишим светским стандардима, те и не чуди што обједињавају нека од тренутно најбољих решења у свету, неоправдано незаступљена на овим просторима. Примера ради, носач плоча типа „N-1”, израђен од материјала „Cordura 5000”, опремљен је и системом за брзо одбацивање „2M ROC/80”. Поред носача плоча, програм укључује и тактичке панталоне „P-5 SCP”, „P-6 Spec Ops”, „P-2EVO”, борбене дуксеве различитих модела, тактичке јакне, ранчеве и др. Исти произвођач је и званични дистрибутер „LOWA” обуће за Републику Србију.

Међу произвођачима из иностранства и ове године се могу посетити штандови веома познатих имена, што, поред осталог, потврђује и међународни углед овог сајма. Посетиоци се могу информисати о реномираним рефлексним нишанима произвођача „Aimpoint AB”, који су веома познати и заступљени у Републици Србији, затим системима „Safran Vectronix ag”, „Safran Electronics and Defense”, „Surefire LLC”, „Wiley X Emea LLC”, сачмарицама сјајне репутације италијанске компаније „Benelli Armi Spa”, као и пушкама за прецизно гађање изузетног квалитета, финске „Sako Ltd”. Фински произвођач представио је и системе са мануелним репетирањем³ – „TRG 22 A1”, „M10”, као и „TIKKA T3x TAC A1”.

Милош М. Јевтић (Miloš M. Jevtić), уредник сајта specijalne-jedinice.com,
e-mail: info@specijalne-jedinice.com,
ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0002-1305-7618>

Новости из Републике Српске: полуаутоматски пиштољ „РС9 Вампир”

Почетком 2019. године међу новостима у области одбрамбене индустрије на овим просторима значајну пажњу привукла је вест о завршним фазама развијања једног озбиљног, веома интересантног пројекта, са изузетним потенцијалом.

Наиме, Технички ремонт из Братунца⁴ у Републици Српској је након „три године развоја, усаглашавања и тестова” тржишту понудио систем полуаутоматског пиштоља звучног назива – „РС9 Вампир”. Захваљујући доброј вољи и професионализму руководства предузећа, аутор чланка

³ Енг. bolt action.

⁴ Предузеће је основано 1955. године као државно предузеће за одржавање, поправку и ремонт моторних возила. Вишедеценијски развој и иновације у производном програму означили су Технички ремонт као поузданог партнера и веома важан елемент у систему националне безбедности и одбране Републике Српске.

имао је привилегију да се детаљније упозна са радовима на пројекту, као и конструкцијским детаљима система.



Модел са навојем за монтирање пригушивача пуцња. Фото: Милош Јевтић

Већ на први помен назива пројекта пажњу плени једна од најстаријих српских речи, која је општеприхваћена у свету. У Техничком ремонту кажу да је то резултат маркетиншких мотива увозника из САД да систем носи атрактиван, звучан назив те „смо се одлучили за реч вампир, јер је то једна од најстаријих српских речи, али прави назив је РС9”. Рад на пројекту, поред изузетне мотивације и ентузијазма, носио је и прегршт изазова, али руководство ниједног момента није одступило од максиме: „Правимо да траје”, не пристајући на компромисе када је квалитет материјала и финалног производа у питању. Управо из тог разлога било је много консултаната, конструктора из компанија са наших, али и простора Европске уније, који су нудили решења, али је комплетан систем у крајњој мери производ знања и искуства Техничког ремонта, на челу са главним конструктором Владимиром Поповићем.

Полуаутоматски пиштољ „РС9” функционише по принципу кратког трзаја цеви и модификованог Browning система брављења (тзв. „сигова брава”), са DA/SA окидањем⁵. Визуелно и конструкцијски неодољиво подсећа на швајцарски класик „SIG P220”, односно серију „ЦЗ 99” из Крагујевца, што ће код старијих генерација несумњиво изазвати благи осећај носталгије. Један од основних критеријума који је нови систем

⁵ Са силом окидања од 2,2 kg при SA, односно 5,5 kg при DA окидању.

trebalo da zadovolji u fazi razvoja jeste pouzdanost u svim klimatsko-terenским условима⁶, са посебном пажњом на оптимизацију перформанси при брзој борбеној палџи.



Леви профил система у стандардној верзији. Фото: ТРБ

У вези с тим, значајно је истаћи да је дужина рама једнака дужини навлаке цеви⁷, што омогућава и дуже вођице, односно стабилно, поуздано креатање навлаке при раду. Систем је намењен „професионалцима и сваки је детаљ на њему произашао из праксе”. Такође, у фази развијања пројекта од огромног значаја за рад имали су „савети и искуства посебно обучених припадника полиције Републике Српске, као и такмичара у практичном стрелаштву”. Стога је велики труд уложен и у оптимизацију балансираности маса оружја.

⁶ У прилог томе говоре и подаци из последњег опсежног тестирања система: испалено је преко 15 000 метака у екстремним условима, као што су температура -40°C и +60°C, након потпуног потапања у воду, потапања у блато и посипања песком. Након 15 000 метака систем је забележио 6 застоја, за које се није поуздано могло утврдити јесу ли последица истрошености система или употребљене муниције, али руководећи се професионалном одговорношћу, конструктори су ове застоје приписали ипак пиштољу. Занимљиво је приметити да су након сваких 1000 метака гађане контролне групе и да су након седам и осам хиљада метака биле успешније него на почетку тестирања (контролне групе гађане су из спреге за упуцавање пиштоља, како би се елеминисао људски фактор).

⁷ Енг. long dust cover.

Посебан понос конструктора из Републике Српске представља конструкцијско решење полуге декокера, о чему су рекли: „Полуга декокера, јединствена за наш пиштољ, има две функције, да врати ударач у предњи положај, односно устави навлаку пиштоља у задњем положају при испаљивању последњег метка. На овај начин смо елиминисали једну полугу из конструкције система”.

Конструкцијске карактеристике

Основне команде на систему распоређене су логично, добро су профилисане и лако се опажа фина, завршна обрада. У изради ударача циљ је био да „омогући максималну контролу оружја и у најтежим условима”. Имајући у виду да је производња система на самом почетку, доступни модели фаворизују десноруке стрелце, али у руководству истичу да ће у скорој будућности имати модел који ће бити подједнако употребљив како за десноруке, тако и за леворуке стрелце.



Поглед на навлаку. Фото: ТРБ

Призматична навлака је закошена на бочним странама, са јасно израђеним, обостраним урезима на задњем и предњем крају, ради сигурнијег хвата при повлачењу. Механички нишани остварују дужину нишанске линије од 161 mm и „Novak” су дизајна, са три тачке, а у развоју су нишани троугластог облика, односно модели са трицијумским цевчицама. У изради рама конструктори су се одлучили за дурал алуминијум Т7075-Т6, како би корисницима, посебно професионалцима, омогућили максималну поузданост и контролу у свим условима.



Интегрисана „Picatinny” шина са четири позиције. Фото: ТРБ

Облоге рукохвата су за сада стандардизоване величине, а купцима ће се испоручивати израђене од полимера/гуме, док ће се на захтев испоручивати и алуминијумске облоге. Полуга за ослобађање навлаке постављена је на левом профилу, изнад обарача. Браник обарача је простран, омогућавајући стрелцу оптимално руковање и при ношењу рукавица, а са предње стране је ожлебљен. Испред браника интегрисана је „Picatinny” шина са четири позиције, омогућавајући прихват тактичких додатака.

У Техничком ремонту предвиђају да би развој „compact” верзије требало да почне током 2020. године, а заинтересованим купцима су, поред стандардне, доступне и ексклузивне верзије, односно верзије са навојем за монтирање пригушивача пуцња.

Да је пројекат квалитетно реализован и да акумулира огроман потенцијал сведоче и бројне успешне промоције на познатим сајмовима наоружања, попут „IDEX” у Абу Дабију 2016. и 2019, затим „IDEF” у Истанбулу 2016, „Партнер 2017” и „Партнер 2019” у Београду, „Eurosatory” у Паризу 2018. године и други.

*Милош М. Јевтић (Miloš M. Jevtić), уредник сајта specijalne-jedinice.com,
e-mail: info@specijalne-jedinice.com,
ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0002-1305-7618>*

Нови хардвер и софтвер за невидљиве¹

Очекује се да ће у блиској будућности пилоти ловаца F-35 моћи да, уз асистенцију вештачке интелигенције, управљају малим групама беспилотних летелица које ће летети уз авион и бити задужене за мисије осматрања, извиђања и циљања.

Данас се развијају много бржи процесори, алгоритми засновани на вештачкој интелигенцији који ће бити здружени са сензорима и аутоматизованим одржавањем, што ће довести до нових тактика које ће бити у стању да предвиде будући развој претњи по авионе.

Нове апликације засноване на вештачкој интелигенцији омогућиће ловцима и бомбардерима F-35 и B-2 бржи приступ базама података, боље организовање информација и брже реаговање. Нови алгоритми обезбедиће боље скенирање, преглед и организацију података примљених од разних сензора, као што су информације о навигацији, радарска опозорења, слике или видео снимци.

Компјутерски алгоритми омогућиће моменталан приступ великим базама података, упоређивању и организовању информација и аутоматизованим процедуралним и аналитичким функцијама, што ће умногоме олакшати одлуке пилота који ће имати више времена за доношење адекватних одлука у борбеним мисијама.

Ловац F-35, на пример, користи рани облик вештачке интелигенције захваљујући којој се добијају, организују и представљају информације на једном екрану, па нема потребе за већим ангажовањем пилота.



Ловац F-35

Компјутерски систем ловаца F-35, *Autonomic Logistics Information System* - ALIS, користи апликације засноване на вештачкој интелигенцији која пролази кроз разне контролне листе, организује приказивање информација и доноси одлуке, тако да интервенција пилота није потребна.

¹The National Interest May 21, 2019

Овај компјутер, под називом *ALIS*, аутоматизује логистику авиона и у стању је да бази пошаље информације у вези са стањем мотора или других инструмената путем радио-везе. Ове информације шаљу се глобалној мрежи техничара која се налази на целом свету.

У блиској будућности пилоти ловаца F-35 моћи ће да путем вештачке интелигенције контролишу мању групу беспилотних летелица које ће бити задужене за осматрачке и нападачке функције.

Данас се све информације у вези с током лета, сензорима и наоружањем беспилотних летелица, као што су *Predator* и *Reaper*, шаљу земаљским контролним станицама. Међутим, у будућности се очекује да ће бити могуће повезивање ових беспилотних летелица, односно њихових података са електро-оптичких и инфрацрвених сензора са компјутерским системом ловца F-35 и њихово приказивање директно на екране у кокпиту ловца без посредовања земаљских станица. Овај систем би знатно убрзао обраду података на простору где се планира извршење борбене мисије. Истовремено би се заштитио и сам ловац који не би морао да користи своје активне сензоре и тиме био примећен од стране противника.

Сам компјутерски систем ловца F-35 има отворену архитектуру, што значи да је подложен разним софтверским и хардверским променама. То данас први доказују Израелци који планирају измену, односно адаптацију тог компјутерског система својим софтверским решењима. Они настоје да интегришу хардвер и софтвер на својим ловцима F-35I инсталацијом свог командног система за контролу, комуникације и рачунање (*Command, Control, Communications and Computing (C4) system*). Израелски командни систем биће постављен командно, изнад основног компјутерског система ловца F-35, што ће му омогућити коришћење података са разних израелских сензорских платформи и њихово прослеђивање одређеним савезничким снагама, у зависности од борбене мисије.

На тај начин Израелци ће омогућити инсталацију својих домаћих дата-линкова и дефанзивних авионичких система, као што су уређаји за ометање радара и противелектронску борбу.

Поред израелског ратног ваздухопловства и Велика Британија, као поуздани амерички савезник, добија могућност интеграције ракета *Meteor* и *ASM-132*, док ће Норвешка и Аустралија моћи да користе норвешку ракету ваздух-море *Naval Strike Missile*

Остала страна ратна ваздухопловства такође настоје да добију већи приступ компјутерском изворном коду ловца F-35 како би га прилагодили својим системима противваздухопловне одбране, али и својим средствима за напад и одбрану, као што су разне ракете ваздух-ваздух, ваздух-земља и уређаји за противелектронску борбу. Међутим, питање је да ли ће компанија *Lockheed* то и дозволити, пре свега због сигурносних, али и комерцијалних разлога.

Амерички бомбардер B-2 је други пример унапређења и измене хардвера и софтвера. Ова летелица добија нови контролни процесор за управљање летом који би подигао перформансе постојећег авионског


компјутера за чак 1000 пута (што није изненађујуће, јер се ради о компјутерској технологији са почетка осамдесетих година прошлог века).

Нови процесор би знатно повећао меморију и брзину мреже, помогао аутоматизацију навигационих програма и унапредио технологију „fly-by-wire”, што би растеретило пилота и омогућило му да се више концентрише на сам борбени задатак.

Иако је грађен током осамдесетих година, В-2 је ипак дигитални авион који користи „стаклени кокпит“ за летне контроле и авионске системе. У њему ће бити уграђени нови интегрисани процесори за управљање летом, а поставиће се и нови фибер-оптички каблови који ће заменити бакарне каблове који су тренутно у употреби, што ће повећати брзине преноса података. Такође биће инсталиран и нови систем *DMS, Defensive Management System*, нови сензорски систем који је пројектован за идентификацију непријатељске противваздухопловне одбране, а служиће и за прикупљање података о ПВО положајима непријатеља.

Све ове хардверске и софтверске измене омогућиће знатно продужавање века употребе авиона, као што су В-2 и F-35, и њихово прилагођавање новим хардверским и софтверским решењима.

Да ли ће нове хардверске и софтверске промене омогућити овим авионима, нарочито ловцу F-35, потпуно безбедан лет у непријатељском окружењу или ће они и даље имати проблем са ударом птица, остаје да се види.

Драган М. Вучковић (*Dragan M. Vučković*),
e-mail: draganvuckovic64@gmail.com,
ORCID iD:  <http://orcid.org/0000-0003-1620-5601>

Јапанска подморница са литијум-јонским батеријама²

Подморница са погоном на литијум-јонске батерије (LIB) можда нема исте перформансе као подморнице са погоном независним од ваздуха (Air Independent Propulsion – AIP), али може бити још тиша од AIP и нуклеарних подморница, јер додатни капацитети батерија дају подморничком капетану већу флексибилност у условима када је потребна изузетна нечујност са искљученим генераторима или у случају када је потребно извести маневре великом брзином. Могло би се рећи да су LIB подморнице корисније када иду на краће патроле.

Током октобра 2018. године из бродоградилшта Kobe у Јапану поринута је подморница за коју се може рећи да представља нову еру у подморничком ратовању са технологијом коју већина нас користи.

Подморница *Oryu* (Змај феникс) једанаеста је јапанска подморница класе *Soryu* (Плави змај). Има већу носивост, до 4519 тона подводног депласмана и дужину до 84 метра са посадом од шездесет и пет људи.

²The National Interest May 1, 2019



Подморница Оруи

Она не одступа много од осталих из своје класе: наоружана је са шест торпедних цеви калибра 533 мм које могу лансирати до 30 торпеда типа *Type 89* или противбродских ракета типа *Harpoon* и има максималну подводну брзину до 20 чворова. Радијус дејства јој је 6100 наутичких миља, док је максимална дубина зарона чак 600 м или и већа, што превазилази и дубину зарона неких противподморничких торпеда.

Упркос величини, изузетној маневарабилности путем компјутерски контролисаног кормила у облику слова X, два напредна лансера акустичких мамаца и прекривености специјалним противзвучним плочама, подморница *Oryu* кошта оком 536 милиона долара (четвртину цене америчке нуклеарне подморнице класе *Virginia*). Издваја се од свих осталих подморница по томе што је прва која користи литијум-јонске батерије, исте технологије коју користе паметни телефони и лаптоп компјутери.

Модерне конвенционалне подморнице користе струју за покретање пропелера и напајање својих борбених и других система. Обично је производе дизел мотори и генератори, а складишти се у класичним оловним акумулаторима са киселином. Међутим, дизел мотори троше ваздух при свом раду, па је потребно да подморница повремено изрони на површину на дубину шноркела и тако допуни своје акумулаторе. Тада може бити откривена и нападнута.

Поред тога, подморнички генератори су прилично бучни, па подморница која је у близини непријатељевих бродова гаси своје дизел моторе и ради искључиво на струју из акумулатора. Тада долази до брзог пражњења батерија. Конвенционална подморница која заплови максималном брзином (обично око 20 чворова) испразни своје акумулаторе у року од једног или два сата. Приликом крстареће брзине од пет до десет

чворова акумулатори могу држати струју и до неколико дана. Један од начина за превазилажење овог проблема је употреба нуклеарне енергије која омогућава готово неограничену аутономију и пловидбу већим брзинама, а тиша је од дизел мотора. Међутим, и нуклеарна подморница са свим новим техничким решењима пригушивања звука је и даље бучнија од подморнице која плови искључиво са погоном на батерије. Други и можда основни проблем јесте што нуклеарна подморницакошта и до шест пута више од конвенционалне подморнице, а није потребна морнарицама које чувају своје обале, јер се ангажују у патролама краћег радијуса.

У последње две деценије интензивно су развијани погони независни од ваздуха за конвенционалне подморнице. Претходне подморнице класе *Soryu* имају AIP погон, такозвани *Stirling closed-cycle heat engines*. Прво су га развили Швеђани, а сада га користи и кинеска морнарица у својим подморницама класе Туре 039А. Подморнице са AIP погоном много су тише од нуклеарних подморница и могу остати под водом и до неколико недеља, иако тада морају пловити брзинама до шест чворова. Проблем са оваквом врстом погона је габаритет и врло присутан ризик од експлозија због нестабилних гасова.

Код подморнице *Oryu* приступа се овом проблему на нови начин – повећавањем капацитета батерија. Од деведесетих година јапанске компаније уводе литијум-јонске батерије у комерцијалну употребу. Од тада се оне налазе у скоро свим преносним електронским уређајима. Литијум-јонске батерије у односу на класичне оловне батерије са киселином имају већи енергетски смештај у односу на своју величину и тежину. Пуне се много брже и празне са 80 до 90 процената ефикасности у односу на 60 до 70 процената код оловних батерија.

Додуше, постоји проблем – могућност прегревања литијум-јонских батерија и спонтаног сагоревања. Овакав сценариј био би погубан по зароњену подморницу. Године 2008. десио се несрећни случај када је дошло до пожара на мини подморници америчких специјалних снага услед самозапаљења литијум-јонске батерије. То је и разлог што не долази до веће примене ове технологије на великим подморницама.

Јапан је уложио много средстава и времена ради осигурања веће сигурности и поузданости својих литијум-јонских батерија на подморницама путем ојачаних комора, стабилизовања хемијских елемената и употребе разних аутоматизованих система за гашење пожара. У овој земљи наводно су изведени екстензивни тестови различитих конфигурација у различитим окружењима како би се осигурао стабилан рад батерија.

На подморници *Oryu* 672 литијум-јонска батеријска модула наводно имају батеријски капацитет једнак капацитету 480 класичних оловних акумулатора. Ови модули могу се допунити много брже, за 1,4 сата уместо пређашњих 2,7 сати. Мада, и цена ових батерија је већа. Оне коштају чак 97 милиона долара, а оловне батерије 13 милиона. Треба рећи и да је изводљиво уградити и употребити и погон независан од ваздуха у


комбинацијама са LI батеријама, мада се онда поставља питање колико би ти огромни трошкови били примерени.

Компанија *Kawasaki Heavy Industries* израдиће још једну подморницу класе *Soryu* са литијум-јонским батеријама, дванаесту и последњу, а затим Јапан планира да започне пројектовање нове генерације LIB подморница. Према неким извештајима, размишља се и о томе да постојеће подморнице са *Stirling* погоном независним од ваздуха буду опремљене LI батеријама.

У међувремену је аустралијска морнарица, ради замене дванаест својих подморница класе *Collins*, расписала тендер за нову подморницу на који су Јапанци понудили своје пловило класе *Soryu*, док је Француска понудила подморницу типа *Barracuda*. Иако су Французи добили на тендеру, дошло је до неспоразума око размера француске и аустралијске сарадње, па и промена влада обе земље, тако да је тај договор сада под знаком питања.

Ипак, аустралијске подморнице биле би ангазоване у врло дугим патролама, па би било неопходно продужити постојећи дизајн подморнице *Soryu* ради складиштења веће количине горива и обезбеђења већег простора за посаду.

Поред Јапана, Јужна Кореја и Кина такође развијају подморнице са литијум-јонским батеријама.

Драган М. Вучковић (*Dragan M. Vučković*),
e-mail: draganvuckovic64@gmail.com,
ORCID ID:  <http://orcid.org/0000-0003-1620-5601>

Борбено возило пешадије KF41 Lynx – велика извозна прилика³

Тренутно постоје три отворена конкурса за набавку варијанте борбеног возила пешадије у којима учествују *Lynx* компаније *Rheinmetall*. Највећи тендер је амерички *US Optionally Manned Fighting Vehicle (OMFV)*, укупне вредности 42 милијарде долара. Овај тендер намењен је набавци 3850 возила за америчку војску у различитим конфигурацијама, а компанија *Rheinmetall* у том тендеру учествује заједнички са компанијом *Raytheon*, док са друге стране постоји заједничка понуда компанија *BAE Systems* и *General Dynamics*. Током последњег квартала 2019. године биће израђен и тестиран узорак, а затим ће уследити фаза инжењерског и производног развоја. Ова друга фаза подразумева производњу 14 возила по уговору вредном 617 милиона долара. Проглашење победника конкурса очекује се у првом или другом кварталу 2020. године.

Компанија *Rheinmetall* има намеру да искористи своје искуство у развоју топа 50 мм RH 503 за уградњу експерименталног топа XM 913 од 50

³Jane's Defence International 13 July 2019

мм који би користио муницију 50X228 *Supershot*, а који је тренутно у развоју у САД. Овакав топ био би супериоран у односу на топове од 30 мм; брзина гранате била би једнака брзини зрна од 40 или 45 мм. Сједињене Државе намеравају да уграде топове од 30 или 50 мм.



KF41 Lynx

Топ *XM 913* постигао би елевацију од 85 степени, што је резултат уградње новог механизма пуњења.

Компанија *Rheinmetall* обезбедиће могућност уградње противтенковске вођене ракете *TOW* на модуларној куполи БВП *Lynx*. Ова ракета је основна противоклопна ракета коју користи америчка војска још од 1973. године и до данас је више пута модернизована. Тренутно најмодернија верзија је *BGM-71F TOW* са полуаутоматским системом вођења и тандем-бојевом главом. Има максимални домет до 4500 метара и очекује се да ће остати у наоружању америчке војске до 2050. године.

Осим топа *XM 913* и вођене противтенковске ракете *TOW*, компанија *Rheinmetall* ради и на обезбеђивању адекватне заштите. Нису наведене прецизне информације у вези с пасивним оклопом БВП, али се претпоставља да ће заштита бити на нивоу *STANAG 4569*, ниво 6, што значи да би оклоп штитио возило од пробојних зрна 30 мм испаљених са даљина до 500 м.

Возило је заштићено од експлозија мина и могуће је накнадно поставити заштиту од касетних бомби. Компанија сматра да је овакво решење неопходно, јер се очекује бројчана надмоћ од 10 према 1 у артиљеријским дуелима са Русијом. Овакво потенцијално решење је врло важно, јер Русија масовно користи касетну муницију и пробојне пројектиле.

Модерна заштита је унапређена и путем електронске архитектуре отвореног кода, која ће бити напајана литијум-јонским батеријама, а која ће,

по наводима компаније, омогућити рад заштитних система возила „релативно дуго“.

Возило може бити опремљено активним системом заштите *Quick Kill* компаније *Raytheon*. Овај систем активне заштите ради у спрези са радарским сензором и системом за управљање ватром. Пројектили се лансирају вертикално и парчадном експлозијом уништавају или скрећу надолazeћи пројектил.

Модерно бојиште подразумева и рад у подручју које је под дејством електронског напада противника. У том смислу БВП *KF41 Lynx* имаће могућност уградње система за електронска дејства. То је иначе област у којој су САД знатно иза Русије, тако да таква могућност возила може представљати и велику предносту у односу на супарничко возило.

Поред тога, возило може бити опремљено и беспилотном летелицом *Coyote*, компаније *Raytheon*.

Coyote је једнократна летелица опремљена видео сензором у боји (10 пута оптичко зумирање) и дуално поларизованим сензором (два пута дигитално зумирање). Систем може бити опремљен и бојевом главом и употребљен за идентификацију и елиминацију непријатељских беспилотних летелица. Ова могућност може бити кључна у операцијама у којима ће беспилотне летелице бити коришћене у лоцирању позиција и координацији артиљеријске ватре.

Једна од не мање важних карактеристика је и маса БВП. У основној конфигурацији маса износи 36 тона, а може бити повећана чак до 50 тона. Поред тога, возило ће бити опремљено системом електричног управљања (*drive-by-wire*), а постоји могућност уградње и беспосадне куполе.

Аустралијски тендер Land 400 phase 3

На аустралијском тендеру *Land 400 phase 3* учествоваће и *BVP Lynx* ради замене оклопних транспортера *M113AS4* који се налазе у употреби аустралијских оружаних снага од 2012. године. *BVP Lynx* може бити конфигуриран за употребу у Аустралији, што би значило да ће возило носити до две тоне опреме војника, укључујући и фрижидер, што би било неопходно на огромним врелим просторима.

У оквиру потреба аустралијског тендера *Land 400 phase 3* *BVP Lynx* ће бити наоружан топом 30 мм *MK30-2ABM*, вођеном ракетом великог домета *SPIKE* и даљински управљаном оружном станицом *EOS*.

Захтеви аустралијског тендера су 281 возило са куполама и 119 возила без купола. Компанија *Rheinmetall* додаје да ће бити у могућности да испоручи додатних 117 возила конфигурираних за употребу у логистици, као носачи минобацача, заштићених амфибија или носача муниције.

BVP Lynx је пројектован са модуларним кровом позајмљеним са оклопног транспортера *Boxer*, што значи да је у року од три сата могуће изменити намену платформе са БВП на ОТ.


Коначно, један од захтева тендера је и интеграција активног система заштите *Iron Fist* израелске компаније *IMI Systems*. Очекује се уградња овог система у свако возило.

Замена BMP-2

Компанија *Rheinmetall* позвана је да учествује у јавној набавци која се односи на замену BMP-2 у Чешкој Републици. Јавна набавка подразумева замену 210 возила која треба да буду испоручена и потпуно оперативна до 2026. године. Ради се о седам конфигурација, укључујући оклопно возило пешадије са простором за осам војника и посадом од троје људи, као и за инжињеријско возило са простором за седам инжињераца и за експлозивни терет.

Возила морају бити компатибилна са захтевима НАТО, што подразумева интегрисани компјутерски систем CANbus, Land Data Model и оружни интегрисани систем за управљање борбом – WINBMS. Оваква возила омогућила би Чешкој да употреби седму механизовану бригаду са снагама НАТО.

Очекује се да ће BVP *Lynx* почети са тестирањем током маја 2019. Године, а супарници су му CV90 компаније *BAE Systems*, ASCOD компаније *General Dynamics European Land Systems* и немачка *Puma*.

Драган М. Вучковић (*Dragan M. Vučković*),
e-mail: draganvuckovic64@gmail.com,
ORCID iD:  <http://orcid.org/0000-0003-1620-5601>

Колико је стварно „невидљив” нови француски ловац Rafale F4.2?⁴

Током јануара 2019. француски министар одбране *Florence Parly* објавила је да ће Француска уложити 2,3 милијарде долара за развој нове F4 генерације двомоторног вишенаменског ловца *Rafale*. Овај аранжман укључиће производњу последње серије од 28 ловаца од поручених 180, а биће испоручени у периоду од 2022. до 2024. године. Након тога уследиће набавка додатних 30 летелица *Rafale F4.2* у периоду између 2027. до 2030. године, што би значило да ће укупан број ових летелица достићи цифру од 210. Француска од 2008. године користи копнене и поморске верзије ловаца *Rafale* у борбеним дејствима у Авганистану, Ираку, Либији, Малију и Сирији.

И поред убацивања одређених „невидљивих” технологија, *Rafale* није прави „невидљиви” авион као што су F-35 и F-22, иако је тачно је да су крила и труп француског авиона углавном састављени од радарски упијајућих композитних материјала и лаког титанијума. Друге „невидљиве” особине пројекта састоје се од посебно обликованих усисника ваздуха,

⁴The national interest 14 July 2019

модификованих ивица и посебно дизајнираног система хлађења издувних гасова ради редуције инфрацрвеног зрачења.



Француски ловац *Rafale*

Овако дизајнирани *Rafale* има радарски одраз нешто мало већи од једног квадратног метра, што је слично одразу америчког ловца *Super Hornet* и европског ловца *Typhoon*, али знатно више од одраза америчког ловца F-35. Копнене верзије ловца *Rafale* тренутно коштају између 76 и 82 милиона долара по авиону, што је само незнатно мање од цене ловца F-35, мада је потребно приметити да су оперативни трошкови француског ловца знатно мањи у односу на амерички F-35.

Француска никада није озбиљно размишљала о набавци америчког ловца F-35, већ је, заједно са Немачком, кренула у развој шесте генерације будућих невидљивих борбених ваздушних млазњака. Очекује се да ће први ловци шесте генерације ући у оперативну употребу у периоду од 2035. до 2040. године. До тада ће Француска повећати број летелица класе 4.5 интеграцијом нове авионике сличне оној у америчком ловцу F-35, пре свега на плану искоришћавања мрежне расподеле података.

Rafale је много окретнији од F-35, има већу брзину успона, бољи радијус окретања и могућност одржавања суперкрстарећих брзина (1,4 маха). Са друге стране, у односу на веће ловце четврте генерације, као што су Su-35 или F-15, *Rafale* има мањи плафон лета (15 240 м уместо 18 288 м) и мању максималну брзину (само 1,8 маха у односу на 2 до 2,5 маха).

Ипак, сама агилност неће много помоћи ловцу *Rafale* уколико буде нападнут са великих даљина непријатељевим ракетама земља-ваздух и невидљивим ловцима. Ради компензације недостатка, *Rafale* је опремљен напредним системом за електронска дејства *Spectra* који по наводима произвођача може умањити радарски одраз авиона неколико пута – претпоставља се да поменути систем одбацује радарске сигнале употребом „активног поништавања”. Систем *Spectra* такође садржи и моћне ометаче, као и уређаје за избацивање противрадарских мамаца, обезбеђује покривање у кругу од 360 степени и помаже пилоту у одређивању позиције непријатељевог борбеног средства.

Наводно је систем *Spectra* успешно употребљен изнад либијског ваздушног простора током 2011. године, и то пре него што су уништени либијски системи за противваздухопловну одбрану.

Остале кључне способности нове верзије ловца *Rafale* укључују спајање сензора вишенаменског AESA радара RBE-2AA који може пратити више мета на даљинама до 200 км својим дискретним инфрацрвеним системом за тражење и праћење чији је домет чак до 100 км. Пилоти ловца *Rafale* управљају авионским инструментима путем гласовних команди и тач скринова.

Вишенаменски ловац наоружан је топом типа револвер калибра 30 мм и убојним средствима масе до 10 000 кг на 14 подвесних носача. С обзиром на то да Француска користи снаге у Африци, може бити допуњен током лета. У случају дугих транзитних летова може носити и до пет спољних резервоара за гориво, а у стању је да полеће са непотпуно припремљених аеродрома за разлику од већине ловаца високих перформанси.

Шта је ново у верзију Rafale F4?

Компанија *Dassault* производи три основна типа ловца *Rafale* – једносед *Rafale-C*, двосед *Rafale-B* (додатни члан посаде је задужен за оружане системе у случају јуришних и извиђачких мисија) и једносед, *Rafale-M* представља морнаричку верзију за носаче авиона која је опремљена зауставном куком, ојачаним сјајним трапом и уређајем за претакање горива. Свака од ових верзија има додатне називе у складу са извршеним модернизацијама, као што су *F1*, *F2*, *F3* и *F3R*.

Модернизација под ознаком *F4* уводи додатне могућности које се односе на употребу мрежних система у модерном борбеном окружењу и логистичко одржавање слично оном на америчком ловцу F-35, што омогућује ловцу *Rafale* стварање много прецизније слике у свом борбеном окружењу, јер се подаци са сензора и размена података са новим сателитским комуникационим системима врши у оба смера и у безбедном окружењу. Пилоти поседују и кациге са уграђеним дисплејима.

Дефанзивни систем *Spectra* добиће много снажније ометаче и нове информатичке базе података које се односе на податке потенцијалних противника. Поред тога, компанија *Dassault* тражи могућност употребе технологије „*Big Data*” у смислу развоја предиктивног система одржавања

сличног систему „ALIS” који се користи у логистичкој подршци ловца F-35, али без недостатака које је тај амерички систем показао.

Нова верзија укључила би и модификован мод радара RBE-2AA у случају мисија ваздух-земља, дигиталне компјутере који контролишу рад мотора M88, нови нишански подвесни уређај који би користио алгоритме вештачке интелигенције ради брзе анализе и презентовања информација пилоту. Морнаричка верзија *Rafale-M* добиће и нови аутоматизовани систем за слетање на носаче авиона.

Нова верзија ловца биће наоружана унапређеним моделом ракете ваздух-ваздух кратког до средњег домета *Mica* са дометом до 49 миља. *Mica* може бити лансирана без иницијалног закључавања мете и накнадно вођена путем дата-линка на ловцу пре укључивања инфрацрвеног или AESA трагача за коначно навођење на циљ. Нова верзија ракете биће опремљена новим мотором са векторисаним потиском за извођење уских маневра. *Mica* може бити лансирана без упозорења противника јер и ловац и ракета користе пасивно инфрацрвено нишањење.

Ракета *Mica-NG* имаће нове инфрацрвене сензоре са бољим перформансама против „невидљивих” ловаца, већу количину погонског горива за напад са већих даљина и интегрисане интерне сензоре ради умањења трошкова одржавања. Њен дуални пулсни мотор омогућиће јој убрзавање непосредно пред детонацију и тиме веће могућности за уништавање мете.

Нове верзије ловаца *Rafale F3R* и *F4* моћи ће да лансирају британске ракете *Meteor* које лете брзином од 4 маха за напад на циљеве на великим раздаљинама.

Још једно ново убојно средство предвиђено је за интеграцију на нове верзије ловца *Rafale*, а то је *AASM HAMMER* са системом вођења сличном америчкој ракети *JDAM* са масом до 1000 кг. До сада је *Rafale* могао да носи само верзију ракете масе до 220 кг са ласерским, инфрацрвеним или сателитским системима вођења. За разлику од америчке ракете *JDAM*, *HAMMER* има и ракетни мотор, што му омогућава погађање циљева на даљинама до 37 миља када је лансирана са већих висина.

Rafale ће, такође, бити модификован и за интегрисање будућих модернизација француске „невидљиве” подзвучне ракете *SCALP-EG*, као и суперсоничне крстареће ракете *ASMP-A* која носи нуклеарну бојеву главу од 300 килотона. Наводно, Француска развија и хиперсоничну верзију ове ракете *AS4NG* којој ће домет бити повећан са 300 на преко 660 миља.


Тренутно, француска *Armée de l’Aire* има три ескадриле вишенаменских авиона *Rafale* и две ескадриле за нуклеарне нападе које се налазе у југозападном и североисточном делу Француске, као и у бази *al-Dhafra*, у Уједињеним Емиратима.

Француска морнарица има три ескадриле авиона *Rafale-M* који се ротирају на француском нуклеарном носачу авиона *Charles de Gaulle*. Током 2018. године једна ескадрила је била стационирана на америчком носачу авиона *George H. W. Bush*.

Нови *Rafale F4* ће постепено заменити све француске авионе типа четврте генерације *Mirage 2000* од којих је тренутно 110 у употреби. Планира се, наводно, да сви авиони типа *Rafale* буду модернизовани на стандард *F4*.

Компанија *Dassault* испоручила је авионе *Rafale* Египту (24), Катару (36) и Индији (36). Постоји могућност да све три државе додатно поруче још ових летелица, иако је поводом њихове цене у Индији избио велики политички скандал.

Како Француска мора сачекати још две деценије до увођења новог европског „невидљивог” ловца, очекује се да ће поменуте модернизације омогућити овом ловцу успешну оперативну употребу у новој ери „невидљивих” авиона и ракета земља-ваздух дугог домета.

Драган М. Вучковић (*Dragan M. Vučković*),
e-mail: draganvuckovic64@gmail.com,
ORCID iD:  <http://orcid.org/0000-0003-1620-5601>

ПОЗИВ И УПУТСТВО АУТОРИМА
ПРИГЛАШЕНИЕ И ИНСТРУКЦИЈА ДЈА 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, e-ISSN 2217-4753 – online, UDC 623+355/359, DOI: 10.5937/VojnotehnickiGlasnik; <https://doi.org/10.5937/VojnotehnickiGlasnik>), 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, те остала теоријска и практична достигнућа која доприносе усавршавању свих припадника српске, регионалне и међународне академске заједнице, а посебно 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 2018. годину:

за област технолошки развој:

– **на листи часописа за материјале и хемијске технологије:**

категија водећи научни часопис националног значаја (**M51**),

– **на листи часописа за машинство:**

категија научни часопис националног значаја (**M52**),

– **на листи часописа за електронику, телекомуникације и информационе технологије:**

категија научни часопис (**M53**),

за област основна истраживања:

– **на листи часописа за математику, рачунарске науке и механику:**

категија научни часопис (**M53**).

Усвојене листе домаћих часописа за 2018. годину могу се видети на сајту Војнотехничког гласника, страница *Категоризација часописа* (Министарство просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије још увек није објавило званичну категоризацију научних часописа за 2019. годину).

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 (категирија М51), 1,5 бод (категирија М52) и 1 бод (категирија М53).

Часопис се прати у контексту Српског цитатног индекса – СЦИИндекс (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 (Clarivate Analytics) 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 и политика самоархивирања*.

Радови се предају путем онлајн система за електронско уређивање АСИСТЕНТ, 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 АСИСТЕНТ или СЦИИНДЕКС, 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 – АСИСТЕНТ*.

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, руском и енглеском 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 резимеа са кључним речима на енглеском и руском језику (без нумерације наслова и поднаслова). Обим чланка треба да буде око једног ауторског табака (16 страница формата А4 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 и руски 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 хијерархији 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 установа 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 поред имена и презимена аутора.

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 *Војнотехничком гласнику* класификују се на научне и стручне чланке.

Научни чланак је:

- оригиналан научни рад (рад у којем се износе претходно необјављени резултати сопствених истраживања научним методом);
- 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);
- кратко или претходно саопштење (оригинални научни рад пуног формата, али мањег обима или прелиминарног карактера);
- 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 чланак је:

- стручни рад (прилог у којем се нуде искуства корисна за унапређење професионалне праксе, али која нису нужно заснована на научном методу);
- информативни прилог (уводник, коментар и сл.);
- приказ (књиге, рачунарског програма, случаја, научног догађаја, и сл.).

Језик рада

Језик рада може бити српски, руски или енглески.

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 уредништава 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 или руском језику, пожељно је да се, поред сажетка на српском и руском, 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 АСИСТЕНТ 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.

За слике и графиконе не сме се користити снимак са екрана рачунара програма за прикупљање података. У самом тексту чланка препоручује се употреба слика и графикона непосредно из програма за анализу података (као што су Excel, Matlab, Origin, SigmaPlot и други).

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).

Детаљно 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 АСИСТЕНТ 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 преводe 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.

Детаљно 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 АСИСТЕНТ у сврху контроле правилног исписа листе референци користи специјалну алатку RefFormatter: контрола обликовања референци у складу са Харвардским приручником за стил.

Пропратно писмо (само за ауторе из Републике Србије и по посебном захтеву уредника)


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.

Сви радови подлежу стручној рецензији.

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
Генерала Павла Јуришића Штурма 1
11040 Београд,
e-mail: vojnotehnicki.glasnik@mod.gov.rs.

Главни и одговорни уредник
мр *Небојша* Гаћеша, дипл. инж.
nebojsa.gacesa@mod.gov.rs,
 <http://orcid.org/0000-0003-3217-6513>,
тел.: војни 40-260 (011/3603-260),
066/8700-123

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. Применение этого Акта способствует повышению качества отечественных журналов и их более полному вовлечению 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 стандартам Республики Сербия.

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, DOI: 10.5937/VojnotehnickiGlasnik; <https://doi.org/10.5937/VojnotehnickiGlasnik>, является мультидисциплинарным научным журналом Министерства обороны Республики Сербия, который публикует научные и профессиональные статьи, а также техническую информацию о современных системах вооружения и современных военных технологиях. Журнал следит за единой межвидовой технической поддержкой вооруженных сил, основанной на принципах системной логистики, за прикладными и инновационными научными исследованиями, в том числе, в области производства вооружения и военной техники, и за прочими теоретическими и практическими достижениями, которые способствуют профессиональному росту представителей сербского, регионального и международного академического сообщества, и особенно военнослужащих Министерства Обороны и Вооружённых сил Республики Сербия.

Министерство образования, науки и технологического развития Республики Сербия, согласно решению принятому в соответствии со ст. 27 абзац 1, пункт 4 и на основании толкования ст. 25 абзац 1 пункт 5 Закона о научно-исследовательской деятельности («Службени гласник РС», № 110/05, утвердило категоризацию «Военно-технического вестника» за 2018 год:

Категории в области технологического развития:

– **Область материалов и химической технологии:**

ведущий научный журнал национального значения (**M51**),

– **Область механики:**

научный журнал национального значения (**M52**),

– **Область электроники, телекоммуникаций и информационных технологий:**

научный журнал (**M53**).

Категории в области основных исследований:

– **Область математика, компьютерные науки, технические науки:**

научный журнал (**M53**).

С информацией относительно категоризации за 2018 год можно ознакомиться на странице сайта «Военно-технического вестника» *Категоризация Вестника* (Министерством просвещения, науки и технологического развития Республики Сербия пока не произведено официального ранжирования научных журналов за 2019 год).

Более подробную информацию можно найти на сайте Министерства образования, науки и технологического развития Республики Сербия.

С информацией о категоризации можно ознакомиться и на сайте КОБСОН (Консорциум библиотек Республики Сербия по вопросам объединения закупок).

Категоризация Вестника проведена согласно Положению о порядке и способе категоризации научно-исследовательских результатов, утверждённого Национальным комитетом по науке и технологиям (Службени гласник РС, № 38/2008).

В соответствии с вышеуказанным Положением и таблицей с показателями классификации и категоризации индивидуальных научно-исследовательских результатов, являющейся неотъемлемой частью Положения, научная статья, опубликованная в «Военно-техническом вестнике», оценивается следующим способом: 2 балла (категория M51), 1,5 балла (категория M52) и 1,5 балл (категория M53).

Журнал соответствует стандартам Сербского индекса научного цитирования (СЦИндекс/SCIndex) – наукометрической базы данных научных журналов Республики Сербия, а также Российского индекса научного цитирования (РИНЦ). Журнал постоянно подвергается мониторингу и оценивается количественными наукометрическими показателями, отражающими его научную ценность, в т.ч. опосредованно в международных индексах цитирования (Clarivate Analytics).

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, утверждёнными Creative Commons (CC BY). С инструкцией об авторских правах можно ознакомиться на странице *Авторские права и политика самоархивирования*, перейдя по ссылке <http://www.vtg.mod.gov.rs/index-ru.html>.

Рукописи статей направляются в редакцию журнала с использованием online системы e-Ур: Электронное издательство – ASSISTANT, запущенной Центром поддержки развития образования и науки (ЦПРОН).

Регистрация в системе и оформление прав доступа выполняется по адресу <http://www.vtg.mod.gov.rs/index-ru.html>, через страницу ASSISTANT или СЦИНДЕКС (aseestant.ceon.rs/index.php/vtg).

С инструкцией по регистрации и правам доступа можно ознакомиться по адресу <http://www.vtg.mod.gov.rs/index-ru.html>, на странице *Инструкция по e-Ур: Электронное издательство ASSISTANT*.

Все авторы, предоставляющие свои рукописи для публикации в редакцию журнала «Военно-технический вестник» должны пройти предварительную регистрацию в реестре ORCID (Open Researcher and Contributor ID). Эта процедура осуществляется в соответствии с инструкцией, размещенной на странице сайта *Регистрация в реестре ORCID для присвоения идентификационного кода*.

«Военно-технический вестник» публикует статьи на сербском, русском или английском 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/eticheskiy-kodyeks.html>).

Статья должна содержать аннотацию с ключевыми словами, введение, основную часть, выводы, список использованной литературы и резюме с ключевыми словами на английском языке (без нумерации заголовков и

подзаголовков). Объём статьи не должен превышать один авторский лист (16 страниц формата А4 с пробелом Single).

Статья должна быть набрана на компьютере с использованием специально подготовленного редакцией макета, который можно скачать на странице сайта *Правила и образец составления статьи*.

Заголовок

Заголовок должен отражать тему статьи. В интересах журнала и автора необходимо использовать слова и словосочетания, удобные для индексации и поиска. Если такие слова не содержатся в заголовке, то желательно их добавить в подзаголовок. Заголовок должен быть переведён на английский язык. Название заголовка (подзаголовка) пишется перед аннотацией на соответствующем языке.

Текущий заголовок

Текущий заголовок пишется в титуле каждой страницы статьи с целью упрощения процесса идентификации, в первую очередь копий статей в электронном виде. Заголовок содержит в себе фамилию и инициал имени автора (в случае если авторов несколько, остальные обозначаются с «et al.» или «и др.»), название работы и журнала (год, том, выпуск, начальная и заключительная страница). Заголовок статьи и название журнала могут быть приведены в сокращённом виде.

ФИО автора

Приводятся полная фамилия и полное имя (всех) авторов. Желательно, чтобы были указаны инициалы отчеств авторов. Фамилия и имя авторов из Республики Сербия всегда пишутся в оригинальном виде (с сербскими диакритическими знаками), независимо от языка, на котором написана работа.

Наименование учреждения автора (аффилиация)

Приводится полное (официальное) наименование и местонахождение учреждения, в котором работает автор, а также наименование учреждения, в котором автор провёл исследование. В случае организаций со сложной структурой приводится их иерархическая соподчинённость (напр. Военная академия, кафедра военных электронных систем, г. Белград). По крайней мере, одна из организаций в иерархии должна иметь статус юридического лица. В случае если указано несколько авторов, и если некоторые из них работают в одном учреждении, нужно отдельными обозначениями или каким-либо другим способом указать в каком из приведённых учреждений работает каждый из авторов. Аффилиация пишется непосредственно после ФИО автора. Должность и специальность по диплому не указываются.

Контактные данные

Электронный адрес автора указываются рядом с его именем на первой странице статьи.

Категория (тип) статьи

Категоризация статьей 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 журнале распределяются по следующим категориям:

Научные статьи:

– оригинальная научная статья (работа, в которой приводятся ранее неопубликованные результаты собственных исследований, полученных научным методом);

– обзорная статья (работа, содержащая оригинальный, детальный и критический обзор исследуемой проблемы или области, в который автор внёс определённый вклад, видимый на основе автоцитат);

– краткое сообщение (оригинальная научная работа полного формата, но меньшего объёма или имеющая предварительный характер);

– научная критическая статья (дискуссия-полемика на определённую научную тему, основанная исключительно на научной аргументации) и научный комментарий.

Однако, в некоторых областях знаний научная работа в журнале может иметь форму монографического исследования, а также критического обсуждения научного материала (историко-архивного, лексикографического, библиографического, обзора данных и т.п.) – до сих 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 номера.

Профессиональные статьи:

– профессиональная работа (приложения, в которых предлагаются опыты, полезные для совершенствования профессиональной практики, но которые не должны в обязательном порядке быть обоснованы на научном методе);

– информативное приложение (передовая статья, комментарий и т.п.);

– обзор (книги, компьютерной программы, случая, научного события и т.п.).

Язык работы

Работа может быть написана на сербском, русском или английском языке.

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, проставляемыми с правой стороны в круглых скобках.

Аннотация (абстракт) и резюме

Аннотация (абстракт) является кратким информативным обзором содержания статьи, обеспечивающим читателю быстроту и точность оценки её релевантности. В интересах редакции и авторов, чтобы аннотация содержала термины, часто используемые для индексирования и поиска статьей. Составными частями аннотации являются цель исследования, методы и заключение. В аннотации должно быть от 100 до 250 слов, и она должна находиться между титулами (заголовок, ФИО авторов и др.) и ключевыми словами, за которыми следует текст статьи. Если работа написана на сербском или русском языке, желательно, чтобы кроме аннотации на сербском и русском, была бы предоставлена и аннотация в расширенном виде на английском языке – в качестве т.н. резюме (summary). Такое резюме должно 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 аннотация из начала статьи). Началом данного резюме может быть переведенная аннотация (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 оно было пропорционально их размеру и в то же время отражала суть.

Ключевые слова

Ключевыми словами являются термины или фразы, адекватно представляющие содержание статьи, необходимые для индексирования и поиска. Ключевые слова необходимо выбирать, опираясь при этом на какой-либо международный источник (регистр, словарь, тезаурус), наиболее используемый внутри данной научной области. Число ключевых слов не может превышать 10. В интересах редакции и авторов, чтобы частота их встречи в статье была как можно большей. Ключевые слова даются на языке, на котором написана статья (аннотация), и на английском языке. В статье они пишутся непосредственно после аннотации (в начале) и после резюме (в конце).

Программа ASSISTANT предоставляет возможность использования сервиса KWASS, автоматически фиксирующего ключевые слова из источников/словарей по выбору автора/редактора.

Дата получения статьи

Дата, когда редакция получила статью; дата, когда редакция окончательно приняла статью к публикации; а также дата, когда были предоставлены необходимые исправления рукописи, приводятся в хронологическом порядке, как правило, в конце статьи.

Выражение благодарности

Наименование и номер проекта, т.е. название программы благодаря которой статья возникла, совместно с наименованием учреждения, которое финансировало проект или программу, приводятся в отдельном примечании, как правило, внизу первой страницы статьи.

Предыдущие версии работы

В случае если статья в предыдущей версии была изложена устно (под одинаковым или похожим названием, например, в виде доклада на научной конференции), сведения об этом должны быть указаны в отдельном примечании, как правило, внизу первой страницы статьи. Работа, которая уже была опубликована в каком-либо из журналов, не может быть напечатана в «Военно-техническом вестнике» ни под похожим названием, ни в изменённом виде.

Нумерация и название таблиц и графиков

Желательно, чтобы нумерация и название таблиц и графиков были исполнены на двух языках (на языке оригинала и на английском). Таблицы подписываются таким же способом как и текст и обозначаются порядковым номером с верхней стороны. Фотографии и рисунки должны быть понятны, наглядны и удобны для репродукции. Рисунки необходимо делать в программах Word или Corel. Фотографии и рисунки надо поставить на желаемое место в тексте. Для создания изображений и графиков использование функции снимка с экрана (скриншота) не допускается. В самом тексте статьи рекомендуется применение изображений и графиков, обработанных такими компьютерными программами, как: Excel, Matlab, Origin, SigmaPlot и др.

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 применяет Гарвардскую систему (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: (Petrović, 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 ASSISTANT предоставляет при цитировании возможность использования сервиса CiteMatcher, фиксирующего пропущенные цитаты в работе и в списке литературы.

Примечания (сноски)

Примечания (сноски) к тексту указываются внизу страницы, к которой они относятся. Примечания могут содержать менее важные детали, дополнительные объяснения, указания об использованных источниках (напр. научном материале, справочниках), но не могут быть заменой процедуры цитирования литературы.

Литература (референции)

Цитированной литературой охватываются, как правило, такие библиографические источники как статьи, монографии и т.п. Вся используемая литература в виде референций размещается в отдельном разделе статьи.

Названия литературных источников не переводятся на язык работы.

«Военно-технический вестник» для оформления списка использованной литературы применяет Гарвардскую систему (Harvard Style Manual). В списке литературы источники указываются в алфавитном порядке фамилий 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.

При оформлении списка литературы программа ASSISTANT предоставляет возможность использования сервиса RefFormatter, осуществляющего 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.

Все рукописи статей подлежат профессиональному рецензированию.

Список рецензентов журнала «Военно-технический вестник» размещён на странице сайта *Список рецензентов*. Процесс рецензирования описан в разделе *Правила рецензирования*.

Почтовый адрес редакции:

«Војнотехнички гласник»


ул. Генерала Павла Јуришича Штурма 1

11040 Белград, Република Србија

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

Главный и ответственный редактор
Кандидат технических наук *Небойша* Гачеша

nebojsa.gacesa@mod.gov.rs

 <http://orcid.org/0000-0003-3217-6513>

тел: +381 11 3603 260, +381 66 8700 123

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, vtg.mo.ynp.cpb, ISSN 0042-8469 – print issue, e-ISSN 2217-4753 – online, UDC 623+355/359, DOI: 10.5937/VojnotehnickiGlasnik; <https://doi.org/10.5937/VojnotehnickiGlasnik>) 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 on modern weapon systems and military technologies. The journal covers inter-service technical support to the Army on the principle of logistic system support; fundamental, applied and development research; production and use of weapons and military equipment as well as other theoretical and practical achievements leading to professional development of all members of Serbian, regional and international academic communities, members of the Ministry of Defence and the Army of Serbia in particular.

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 2017

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 mechanical engineering**, category: scientific periodical of national interest (**M52**),
 - **on the list of periodicals for electronics, telecommunications and IT**, category: scientific periodical (**M53**),
- in the field fundamental research:
- **on the list of periodicals for mathematics, computer sciences and mechanics**, category: scientific periodical (**M53**).

The approved lists of national periodicals for the year 2018 can be viewed on the website of the *Military Technical Courier*, page *Journal categorization* (The Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia has not yet published the official evaluation of scientific journals for 2019).

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), 1,5 (one and a half) point (category M52) and 1 (one) point (category M53).

The journal is in the Serbian Citation Index – SCIndex (data base of national scientific journals), in the Russian Index of Science Citation/Российский индекс научного цитирования (RINC/ПИИЦ) and is constantly monitored depending on the impact within the bases themselves and indirectly in the international (e.g. Clarivate Analytics) 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 and Self-archiving policy* page of the journal's website.

Manuscripts are submitted online, through the electronic editing system ASSISTANT, 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 ASSISTANT 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 - ASSISTANT*.

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, Russian or English, 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:

- Original scientific papers (giving the previously unpublished results of the author's own research based on scientific methods);
- Review papers (giving an original, detailed and critical view of a research problem or an area to which the author has made a contribution demonstrated by self-citation);
- Short communications or Preliminary communications (original scientific full papers but shorter or of a preliminary character);
- Scientific commentaries or discussions (discussions on a particular scientific topic, based exclusively on scientific argumentation) and opinion pieces.

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:

- Professional papers (contributions offering experience useful for improvement of professional practice but not necessarily based on scientific methods);
- Informative contributions (editorial, commentary, etc.);
- Reviews (of a book, software, case study, scientific event, etc.)

Language

The article can be in Serbian, Russian or English.

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 and Russian, articles in Serbian and Russian 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 or Russian 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 ASSISTANT 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.

For figures and graphs, proper data plot is recommended i.e. using a data analysis program such as Excel, Matlab, Origin, SigmaPlot, etc. It is not recommended to use a screen capture of a data acquisition program as a figure or a graph.

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 ASSISTANT system uses a special tool CiteMatcher 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.

All articles are peer reviewed.

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
Generala Pavla Jurišića Šturma 1
11040 Belgrade, Republic of Serbia,
e-mail: vojnotehnicki.glasnik@mod.gov.rs.

Editor in chief
Nebojša Gaćeša MSc
nebojsa.gacesa@mod.gov.rs
 <http://orcid.org/0000-0003-3217-6513>
tel.: +381 11 3603 260, +381 66 8700 123

Ликовно-графички уредник
мр *Небојша* Кујунџић,
е-mail: nebojsa.kujundzic@mod.gov.rs

Техничко уређење
мр *Небојша* Гаћеша, е-mail: nebojsa.gacesa@mod.gov.rs,
<http://orcid.org/0000-0003-3217-6513>

Лектор
Добрила Милетић, професор,
е-mail: miletic.dobрила@gmail.com

Превод на енглески
Јасна Вишњић, професор,
е-mail: jasnavisnjic@yahoo.com, <http://orcid.org/0000-0003-1728-4743>

Превод на руски
др Карина Авајан,
е-mail: karinka2576@mail.ru

Превод на немачки
Гордана Богдановић
е-mail: gordana.bogdanovic@yahoo.com

Превод на француски
Драган Вучковић,
е-mail: draganvuckovic64@gmail.com, <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: 100 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
Магистр дизайна, *Небойша* Куюнджич,
e-mail: nebojsa.kujundzic@mod.gov.rs

Технический редактор
Кандидат технических наук *Небойша* Гачеша, e-mail: nebojsa.gacesa@mod.gov.rs,
<http://orcid.org/0000-0003-3217-6513>

Корректор
Добрила Милетич,
e-mail: miletic.dobрила@gmail.com

Перевод на английский язык
Ясна Вишнич,
e-mail: jasnavisnjic@yahoo.com, <http://orcid.org/0000-0003-1728-4743>

Перевод на русский язык
Д.филол.н. *Карина* Кареновна Авагян,
e-mail: karinka2576@mail.ru

Перевод на немецкий язык
Гордана Богданович,
e-mail: gordana.bogdanovic@yahoo.com

Перевод на французский язык
Драган Вучкович,
e-mail: draganvuckovic64@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0003-1620-5601>

CIP – Каталогизация в публикации: Национальная библиотека Сербии, г. 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 / главный редактор
Небойша Гачеша. – Первый выпуск (1953) –
г. Белград (ул. Браче Юговича, д. 19): Министерство
обороны Республики Сербия, 1953- (Белград:
Военная типография). - 24 см
Размещено на сайте:
<http://www.vtg.mod.gov.rs>
Ежеквартально - Издание в электронном виде:
Военно-технический вестник (Online) = ISSN2217-4753
ISSN 0042-8469 = Военно-технический вестник
COBISS.SR-ID 4423938

Цена: 350,00 динаров
Тираж: 100 экземпляров

На основании решения Министерства науки и технологий Республики Сербия,
№ 413-00-1201/2001-01 от 12. 9. 2001 года, журнал «Военно-технический вестник»
объявлен изданием, имеющим особое значение для науки.

УДК: Национальная библиотека Сербии, г. Белград

Graphic design editor
Nebojša Kujundžić MA,
e-mail: nebojsa.kujundzic@mod.gov.rs

Copy editing
Nebojša Gaćeša MSc, e-mail: nebojsa.gacesa@mod.gov.rs,
<http://orcid.org/0000-0003-3217-6513>

Proofreader
Dobriša Miletić BA,
e-mail: miletic.dobriša@gmail.com

English translation and polishing
Jasna Višnjic BA,
e-mail: jasnavisnjic@yahoo.com, <http://orcid.org/0000-0003-1728-4743>

Russian translation and polishing
Karina Avagyan PhD,
e-mail: karinka2576@mail.ru

German translation and polishing
Gordana Bogdanović,
e-mail: gordana.bogdanovic@yahoo.com

French translation and polishing
Dragan Vučković,
e-mail: draganvuckovic64@gmail.com, <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 100 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