

# ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВА ТЕХНІКА

1(21)  
2019

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЖУРНАЛ

ЩОКВАРТАЛЬНИК  
ВИДАЄТЬСЯ 3 СІЧНЯ 2014 РОКУ

Керівник проекту,  
голова редакційної ради

**І.Б. Чепков,**

д-р техн. наук

Редакційна колегія:

**С.В. Лапицький,** д.т.н., гол. ред.

(ЦНДІ ОБТ ЗСУ)

**М.І. Васківський,** д.т.н., заст. гол. ред.

(ЦНДІ ОБТ ЗСУ)

**В.В. Глєбов,** д.т.н. (ХКБМ)

**А.С. Довгополий,** д.т.н. (ЦНДІ ОБТ ЗСУ)

**В.В. Зубарєв,** д.т.н. (ЦНДІ ОБТ ЗСУ)

**О.М. Купрінєнко,** д.т.н. (НАСВ)

**О.П. Коростельов,** д.т.н. (ДержККБ «Ліуч»)

**Д.Б. Кучер,** д.т.н. (ІВМС НУОМА)

**Д.П. Кучеров,** д.т.н. (НАУ)

**Б.М. Ланецький,** д.т.н. (ХНУПС)

**М.І. Луханін,** д.т.н. (ЦНДІ ОБТ ЗСУ)

**М.М. Мітрахович,** д.т.н.

(ДП «Івченко-Прогрес»)

**Б.О. Олійник,** д.т.н. (ДП «ЛОРТА»)

**П.П. Чабаненко,** д.в.н. (ЦНДІ ОБТ ЗСУ)

**А.В. Чучий,** секр. (ЦНДІ ОБТ ЗСУ)

Редакційна рада:

**Ю.А. Гусак,** д.в.н. (ВНУ ГШ ЗСУ)

**М.М. Шевцов,** к.т.н. (ОЗСУ)

**Г.В. Певцов,** д.т.н. (ХНУПС)

**П.П. Ткачук,** д.іст.н. (НАСВ)

**В.Б. Толубко,** д.т.н. (ДУТ)

**О.В. Харченко,** д.т.н. (ДНДІА)

Розглянуто та схвалено до друку

науково-технічною радою

ЦНДІ ОБТ ЗС України

(протокол №3 від 19.03.2019)

Оригінальний макет виготовлено

Видавничим домом Дмитра Бураго

Адреса редакції:

Україна, 03049, м. Київ,

пр-т Повітрофлотський, 28

Тел.: (044) 271-0966

Факс: (044) 520-12-84

E-mail: cndi\_ovi@mil.gov.ua

Сайт: <https://journal.cndiovt.com.ua>

Свідомство про державну реєстрацію

друкованого засобу масової інформації

серія КВ №20209-10009Р від 20.08.2013

Журнал входить до переліку наукових видань

Міністерства освіти і науки України

(наказ №7-дск від 30.09.2014)



© ЦНДІ ОБТ ЗС України, 2019

## У НОМЕРІ

### ВОЄННО-ТЕХНІЧНА ПОЛІТИКА

- Чепков І.Б., Головін О.О., Зубарєв О.В., Свергунов О.О., Шостак В.Г.* Воєнно-технічна політика: проблеми оснащення збройних сил системами авіаційного озброєння, військової та спеціальної техніки в умовах ресурсних обмежень ..... 3
- Докучаєв О.В., Свергунов О.О., Зубарєв В.В., Чепков І.Б.* Методика оцінки стану реалізації політики військово-технічного співробітництва (ВТС) України ..... 9
- Довгополий А.С., Сотник В.В., Томчук В.В., Копилова З.М., Бура Е.Б.* Пріоритетний розвиток критичних технологій – запорука зміцнення обороноздатності та економічного зростання держави. .... 15

### БРОНЕТАНКОВА ТЕХНІКА

- Бісик С.П., Чепков І.Б., Васківський М.І., Давидовський Л.С., Сливінський О.А., Арістархов О.М.* Методи моделювання повітряного вибуху на конструкції в LS-DYNA. Порівняння та аналіз ..... 22

### АРТИЛЕРІЙСЬКЕ ТА СТРІЛЕЦЬКЕ ОЗБРОЄННЯ

- Гурнович А.В., Трофименко В.Г.* Методичний підхід щодо вирішення оберненої задачі зовнішньої балістики з визначення функції опору повітря польоту снаряда без використання спеціалізованого обладнання ..... 32
- Шкурят О. І., Батурін В. А., Бугайов С. І., Карпенко О. Ю., Кравченко С. М., Коломієць В. М., Костецький В. І., Лопаткін Р. Ю., Миронець Є. А., Сторіжко В. Ю., Фіртсов С. О., Горбань В. Ф., Даниленко М. І.* Розробка технології процесу обробки каналу ствола гармати для підвищення його ресурсу ..... 35
- Майстрєнко О.В., Артамоєнко В.С., Бубеницьков Р.В., Стегура С.І., Давидовський Л.С.* Підхід до визначення доцільного функціонально-організаційного об'єднання окремих функціональних елементів підсистем вогневого ураження противника ..... 41
- Бойчун С.Е.* Математическое моделирование и экспериментальная отработка газо-жидкостных систем разделения реактивных снарядов (на базе пакета программ «MATMEX») ..... 47

### ОЗБРОЄННЯ ТА ОБЛАДНАННЯ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

- Смирнов В.А.* Методические аспекты оценки эффективности активных систем ограничения предельных режимов полета самолетов при математическом моделировании и в летных испытаниях ..... 54

### БЕЗПІЛОТНІ АВІАЦІЙНІ КОМПЛЕКСИ

- Силков В.И., Жевтюк А.А., Воробьев Н.М.* “Беспилотник” в фугоидном полете. . . . 59

### ТЕХНІКА ТА ОЗБРОЄННЯ ВІЙСЬКОВО-МОРСЬКИХ СИЛ

- Чабаненко П.П., Розгонаєв С.М., Бережний О.М.* Оцінювання ефективності експлуатації та бойового застосування озброєння і військової техніки з перервними контурами управління за показником безпомилковості виконання задачі ..... 67

### ВИРОБНИЦТВО, МОДЕРНІЗАЦІЯ, РЕМОНТ

- Петрук С.М., Пащенко О.В.* Методичні основи збільшення ресурсних показників визначених об'єктів озброєння та військової техніки ..... 75

### ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ВЛАСНІСТЬ

- Комаров В.О., Москвітін О.О., Яременко М.П., Куровська Т.Ю.* Нормативно-правове супроводження процесу створення об'єктів права інтелектуальної власності в США ..... 78

### ІНФОРМАЦІЯ

- Бісик С.П., Сотник В.В.* Конференція ARMoured VEHICLES EASTERN EUROPE 2018 ..... 89

- РЕЗІЮМЕ ..... 92

WEAPONS AND  
MILITARY EQUIPMENT

1(21)  
2019

SCIENTIFIC JOURNAL

QUARTERL  
PUBLISHED SINCE JANUARY 2014

TABLE OF CONTENTS	
MILITARY TECHNICAL POLICY	
<i>Chepkov I.B., Golovin O.O., Zubariev O.V., Svergunov O.O., Shostak V.G.</i> Military-technical policy: problems of equipping armed forces with aviation armament, military and special equipment in conditions of resource constraints . . . . .	3
<i>Dokuchaev O.V., Svergunov O.O., Zubarev V.V., Chepkov I.B.</i> Evaluation method of realization the policy of military-technical cooperation (mtc) of Ukraine . . . . .	9
<i>Dovhopoly A., Sotnyk V., Tomchuk V., Kopylova Z., Bura E.</i> The priority development of critical technologies is a guarantee of strengthening of defense capability and economic growth of the state . . . . .	15
ARMORED VEHICLES	
<i>Bisyk S.P., Chepkov I.B., Vaskivskyy M.I., Davydovskiy L.S., Shyvinskyy O.A., Aristarkhov O.M.</i> Methods for modelling Air blast on structures in LS-DYNA. Comparison and analysys . . . . .	22
ARTILLERY WEAPONS & SMALL ARMS	
<i>Hurnovych A.V., Trofymenko V.G.</i> Methodical approach to solving the inverse problem of the external ballistics for the determining of drag function of the flight of a projectile without the specialized equipment . . . . .	32
<i>Shkurat O.I., Baturin V.A., Buhajov S.I., Karpenko O.Yu., Kravchenko S.M., Kolomiets V.M., Kostetskyy V.I., Lopatkin R.Yu., Myronets Ye.A., Storizhko V.Yu., Firstov S.O., Gorban V.F., Danylenko M.I.</i> Development of a Technology for Processing a Rifled Barrel Channel to Improve Wear-Resistance of the Barrel . . . . .	35
<i>Maystrenko O.V., Artamoshchenko V.S., Bubenshchikov R.V., Stegura S.I., Davydovskiy L.S.</i> Approach to the definition of a feasible functional and organizational association of individual functional elements of the enemy fire subsystems . . . . .	41
<i>Boychun S.E.</i> Mathematical modeling and experimental working off of gas-liquid systems for separation of reactive shells (on the basis of the matmech program package) . . . . .	47
AIRCRAFT ARMAMENT & FACILITIES	
<i>Smirnov V.</i> Methodological aspects of effectiveness evaluation of active limitation systems of marginal aircrafts flight regimes in mathematical modeling and in flight testing . . . . .	54
UAV	
<i>Silkov V.I., Zhevtyuk A.A., Vorobiev N.M.</i> “Drone” in fugoïd flight . . . . .	59
NAVY ARMAMENT & EQUIPMENT	
<i>Chabanenko P.P., Rozhonayev S.M., Berezhniy O.M.</i> Evaluation of the efficiency of operation and fighting application of weapons and windows of coffee equipment with permanent contracts of management under the performance indicator of the implementation of the problem. . . . .	67
PRODUCTION, MODERNIZATION, MAINTENANCE	
<i>Petruk S.M., Paschenko O.V.</i> Methodical aspects of increasing the resource indicators of specified arms and military equipment. . . . .	75
INTELLECTUAL PROPERTY	
<i>Komarov V.O., Moskvitin O.O., Yaremenko M.P., Kurovskiy T.Y.</i> Legal and regulatory accompaniment of the process of creation of the intellectual property objects in the USA . . . . .	78
INPUTS	
<i>Bisyk S.P., Sotnik V.V.</i> Conference ARMORED VEHICLES EASTERN EUROPE 2018 . . . . .	89
RESUME . . . . .	92
<div>Project Manager, Editorial Director <b>Chepkov I.B.,</b> DEng</div> <div>Editorial Board: <i>Lapytskiy S.V.,</i> DEng, Chief Editor (CRI WME AFU) <i>Vaskivskiy M.I.,</i> DEng, (CRI WME AFU) <i>Glebov V.V.,</i> DEng (KMDB) <i>Dovhopolyi A.S.,</i> DEng (CRI WME AFU) <i>Zubariev V.V.,</i> DEng (CRI WME AFU) <i>Kuprinenko O.M.,</i> DEng (Hetman Petro Sahaidachnyi NAA) <i>Korostelyov O.P.,</i> DEng ("SKDB"Luch") <i>Kucher D.B.,</i> DEng (NI NU "OMA") <i>Kucherov D.P.,</i> DEng (NAU) <i>Lanetskyy B.M.,</i> DEng (KNUAF) <i>Lukhanin M.I.,</i> DEng (CRI WME AFU) <i>Mitrakhovych M.M.,</i> DEng (SE Ivchenko-Progress) <i>Oliarnyuk B.O.,</i> DEng (SE "LSP"LORTA") <i>Chabanenko P.P.,</i> DScMil, (CRI WME AFU) <i>Chuchmiy A.V.,</i> secretary, (CRI WME AFU)</div> <div>Editors: <i>Husak Yu.A.,</i> DScMil (MSD GS AFU) <i>Shevtsov M.M.</i> (AAFU) <i>Pyevtsov H.V.,</i> DEng (KNUAF) <i>Tkachuk P.P.,</i> DSc (Hetman Petro Sahaidachnyi NAA) <i>Tolubko V.B.,</i> DEng (SUT) <i>Kharchenko O.V.,</i> DEng (SRIA)</div> <div>Reviewed and approved for publication by Science and Engineering Board (record No.3 of 19.03.2019) <i>Original dummy copy was made by Dmitry Burago Publishing House</i></div> <div>Editorial address: Ukraine, 03049, Kyiv 28, Povitroflotsky Ave tel.: (044) 271-0966 fax: (044) 520-12-84 E-mail: <a href="mailto:endi_ovt@mil.gov.ua">endi_ovt@mil.gov.ua</a> Site: <a href="https://journal.cndiovt.com.ua">https://journal.cndiovt.com.ua</a>  Printed Medium State Registration Certificate serial No. KB 20209-10009R of 20.08.2013 Journal is in the list of scientific professional publications of the Ministry of Education and Science of Ukraine (order No.7-FOUO of 30.09.2014)</div> <div></div> <div>© CRI WME AF OF UKRAINE, 2019</div>	

УДК 355.02: 355.44

DOI: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.1\(21\).3-8](https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.1(21).3-8)

**І.Б. ЧЕПКОВ**, доктор технічних наук, професор  
**О.О. ГОЛОВІН**, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

**О.В. ЗУБАРЄВ**, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

(Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)

**О.О. СВЕРГУНОВ**, кандидат технічних наук, доцент

(Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)

**В. Г. ШОСТАК**, заступник директора  
Департаменту військово-технічної політики,  
розвитку озброєння та військової техніки  
Міністерства оборони України

## **Воєнно-технічна політика: проблеми оснащення збройних сил системами авіаційного озброєння, військової та спеціальної техніки в умовах ресурсних обмежень в сухопутних військах збройних сил країн НАТО**

*Проведено системний аналіз різних факторів впливу на воєнно-технічну політику, що виникли в останні роки при вирішенні проблем оснащення збройних сил системами авіаційного озброєння, військової та спеціальної техніки в умовах ресурсних обмежень. Показан методичний підхід з оцінки воєнно-технічної політики при цьому на основі теорії ризиків*

*Проведен системный анализ разных факторов влияния на военно-техническую политику, которые возникли в последние годы при решении проблем оснащения вооруженных сил системами авиационного вооружения, военной и специальной техники в условиях ресурсных ограничений. Показан методический подход по оценке военно-технической политики при этом на основе теории рисков.*

Стан технічного оснащення Збройних сил України (ЗСУ) авіаційними системами озброєння, військової та спеціальної техніки (ОВСТ) та оборонної промисловості (ОП) України нині потребує їх суттєвого удосконалення. Наприклад, винищувачі МіГ-29 та Су-27 різних модифікацій, які знаходяться на озброєнні ЗСУ, мають календарні терміни експлуатації більше 30 років. Це вимагає прийняття виважених рішень про необхідність та шляхи формування нової військово-технічної політики (ВТП) в інтересах вирішення проблеми оснащення ЗСУ авіаційними системами в умовах ресурсних обмежень. На актуальності питань щодо стану технічного оснащення ЗС України багаторазово наголошувалося протягом останніх років у документах стратегічного планування [1]. Ці питання аналізувалися в науковому та експертному середовищі [2, 5].

З іншого боку, досвід провідних країн показує, що одним із головних завдань ВТП держави до забезпечення національної безпеки, у тому числі і оборони, в рамках політики технічного оснащення збройних сил (ЗС) та інших військових формувань сучасними системами озброєння, військової та спеціальної техніки (ОВСТ) у провідних державах є формування довгострокових планів та програм з розробки і закупівлі авіаційних систем (літаків, вертольотів, крилатих ракет, безпілотних літальних апаратів (БПЛА) тощо) та пошуку ресурсів для цього [3, 4]. Також згідно прогнозів щодо воєнних загроз для держав та можливостей їх зменшення, роль авіаційних систем у ЗС буде збільшуватись [6]. Особливо варто підкреслити, що на базі авіаційних систем ОВСТ провідними країнами (США, РФ, КНР, Францією тощо) розробляється гіперзвукове озброєння та інші види нетрадиційного озброєння [7, 8].

Актуальність потреб у нових авіаційних системах ОВСТ для ЗС обумовлює й те, що нині війна у повітрі стрімко перетворюється в основну форму бойових дій, від якої залежить результат усієї війни. Активно йде формування у країнах єдиної системи повітряно-космічної оборони (ПКО) з відповідними ОВСТ, значення якої у ХХІ ст. стало дуже особливим. ПКО фактично вже перетворилася в синонім державного суверенітету. Це спонукає зробити висновки, що проблеми оснащення ЗСУ новими системами авіаційного ОВСТ є одними з актуальних та вимагають їх дослідження.

В той же час аналіз процесів технічного оснащення ЗС сучасними авіаційними системами ОВСТ показує, що вони характеризується низкою суперечностей між вимогами до цих систем і можливостями держав їх розробки та придбання для ЗС із-за високої вартості таких систем та можливостями національної ОП і науки розробляти, здійснювати випробування та серійно виробляти нові ОВСТ і модернізувати існуючі.

Процедури стратегічного розвитку авіаційних систем озброєння для ЗС ускладнюються через різноманіття номенклатури, високу вартість, необхідність мати високотехнологічну ОП та науку, значні терміни, необхідні для розробок і виробництва ОВСТ [9]. З одного боку, оборонне планування включно з питаннями розвитку ОВСТ, як відомо, є стратегічно важливим процесом,

який вимагає ефективного стратегічного аналізу розвитку воєнної сфери, а в рамках ВТП розробки довгострокових відповідних планів, програм і заходів, контролю за їх реалізацією. З іншого боку, процеси розробок, випробувань і серійного виробництва ОБСТ є складниками інноваційного розвитку ОП і нових технологій, науки, освіти та інших напрямів розвитку держави.

Водночас у провідних країнах серед міністерств оборони (МО) та виробників ОБСТ нині спостерігаються нові тенденції щодо розробки та реалізації ВТП відносно авіаційної техніки [10], розвитку сучасних авіаційних систем озброєнь, їх виробництві та оснащенні ними ЗС [11]. Тому актуальним питанням є використання світового досвіду зі стратегічного аналізу та стратегічного планування ВТП з технічного оснащення ЗС авіаційною технікою в умовах ресурсних обмежень. Відповідно до нових підходів до формування цієї політики з питань закупівлі провідними країнами авіаційних систем ОБСТ змінюються концепції та програми реформування та розвитку ОП, розвитку її наукового, науково-технічного та виробничого потенціалу шляхом стимулювання фундаментальних і пошукових досліджень в інтересах забезпечення обороноздатності держави.

Тому **метою статті** є аналіз світових тенденцій зі стратегічного прогнозування та планування ВТП з технічного оснащення ЗС авіаційними системами ОБСТ для застосування цього досвіду в Україні. Зокрема, важливими питаннями є вивчення механізмів формування та реалізації ВТП з вище зазначеного пряму провідними виробниками авіаційних систем ОБСТ, довгострокових планів розробок, виробництва та закупівлі, особливо високотехнологічних, озброєнь.

### ***Характеристика ризиків планування ВТП щодо закупівлі авіаційних систем ОБСТ для збройних сил***

Досвід провідних країн з розробки та реалізації ВТП з організації процесів створення нових, модернізації існуючих або закупівлі зразків авіаційних систем ОБСТ з урахуванням воєнних загроз і можливостей держави показує, можливо оцінювати за наступними факторами.

**По-перше**, відносно придбання МО авіаційних систем ОБСТ для ЗС країни можуть реалізовувати декілька стратегій: самостійно розробляти, випробувати та виробляти такі системи; закуповувати за імпортом; спільно з іншими країнами розробляти, випробувати та виробляти такі системи. Слід зазначити, що нині самостійно розробляти, випробувати та виробляти високотехнологічні авіаційні системи ОБСТ (винищувачі 5-го покоління, гіперзвукові ракети тощо) можуть тільки декілька країн (США, КНР та РФ). Навіть Велика Британія та Франція при розробках, випробуванні та виробництві будуть спиратись на кооперацію з іншими державами [8].

Нині горизонти прогнозування та стратегічного планування ВТП з розвитку авіаційних систем ОБСТ у США, Франції, КНР та РФ сягають 25-30 років. Наприклад, на початку лютого 2010 р. США оприлюднили довгостроковий план (на період 2011–2040 фін. років) з питань закупівлі літаків бойової та допоміжної авіації [11].

**По-друге**, розробка тільки програм, планів або окремих проектів щодо придбання авіаційних систем ОБСТ дуже довгостроковий та комплексний процес, який може охоплювати декілька років. Для прикладу можливо навести Фінляндію. Про початок програми щодо закупівлі нових літаків у Фінляндії на заміну 64 застарілих F/A-18 «Хорнет» у 2025-2030 роках було оголошено наприкінці 2015 року. У реалізації цієї програми планують взяти участь компанії Boeing (F/A-18E/F Super Hornet), Dassault (Rafale), Eurofighter (Typhoon), Lockheed Martin (F-35) і Saab (Gripen-E). Навесні 2018 року конкурсантам були надані вимоги до нових літаків, а вибір винищувача відбудеться в 2021 році [12].

Болгарія вже близько десяти років вирішує питання закупівлі винищувачів для заміни літаків МіГ-29. Станом на початок 2019 року на озброєнні Болгарії знаходяться 12 бойових винищувачів МіГ-29 і три учбово-бойові машини цього типу виробництва 80-х років ХХ ст. Основними проблемами цього процесу в Болгарії є нестача коштів в бюджеті. На початку червня 2018 року парламент Болгарії затвердив план уряду з придбання 16-ти сучасних винищувачів, які замінять літаки МіГ-29. Загальна вартість проекту закупівлі винищувачів складе близько 1,8 мільярда євро [13].

**По-третє**, вартість авіаційних систем ОБСТ часто перевершує можливості оборонних бюджетів щодо закупівлі таких систем. Тому до пошуку механізмів їх фінансування залучаються не тільки МО, а й уряди та законодавчі органи країн. Наприклад, на закупівлю нових винищувачів для ВПС Фінляндії, призначених для заміни 64 застарілих F/A-18 «Хорнет», за рішенням фінського парламенту», окремою статтею витрат буде виділено від 7 до 10 млрд. євро, що є самим дорогим проектом придбання ОБСТ Фінляндією в її історії. Згідно із планами винищувачі «Хорнет», що експлуатуються з 1992 року, будуть списані до 2030 року. Нові літаки ВПС Фінляндії розраховують використовувати до 2050-х рр. У той же час, оголошена вартість закупівлі, ймовірно, складе лише одну третину від загальних видатків протягом строку експлуатації літаків. При цьому вартість обслуговування і модернізації буде залежати від того, скільки союзних Фінляндії держав будуть експлуатувати обраний ВПС Фінляндії літак [14].

**По-четверте**, довгострокові терміни реалізації програм, планів або окремих проектів щодо придбання авіаційних систем ОБСТ. Вони можуть сягати до 10-12 років [12, 14]. Проаналізуємо це на прикладах замовлення, виготовлення та постачання паливозаправників MRTT A330 компанії Airbus Defence and Space. Літак MRTT A330 для зменшення загальної вартості програми створений на базі комерційного літака Airbus A330-200. Корпорація Airbus постачає літаки MRTT A330 в Австралію, Велику Британію, ОАЕ, Саудівську Аравію, Францію та веде переговори з іншими країнами.

Після замовлення MRTT A330 в 2005 році австралійські ВПС планували почати отримувати літаки з початку 2008 року, щоб повністю завершити постачання 5-ти літаків до 2010 року. Однак перший літак MRTT A330 (австралійське позначення KC-30A) Австралія отримала в

червні 2011 року. Переобладнанням ще чотирьох літаків для австралійських ВПС займається компанія Qantas Defence Services[en] на своїй базі в Брісбені.

У січні 2004 року Міністерство оборони Великої Британії оголосило про вибір варіанта літака MRTT A330 (Voyager KC) як літака-заправника в рамках програми Future Strategic Tanker Aircraft, покликаної замінити існуючі літаки-заправники на базі L-1011 і VC10. 27 березня 2008 року сторони підписали контракт на постачання 14 літаків з поставкою першої машини у 2011 році. Перший літак був переданий у 2012 році.

У 2007 році ОАЕ оголосили про підписання з компанією Airbus меморандуму про взаєморозуміння щодо купівлі трьох MRTT A330. Компанія Airbus оголосила про підписання твердого контракту з ОАЕ в лютому 2008 року. 3 січня 2008 року Саудівська Аравія підписала контракт на постачання трьох MRTT A330. У липні 2009 року було оголошено, що Саудівська Аравія замовила ще три літака MRTT A330.

У Франції реалізують програму закупівлі багатоцільових транспортних літаків MRTT (Multi Role Tanker Transport) MRTT A330 Phnix для ВПС, які будуть виконувати функції паливозаправників, транспортування вантажів та особового складу. MRTT A330 також може виконувати функції санітарного літака. Зацікавленість у придбанні таких літаків Франція проявила у 2011 році. Літаки A330 Phnix замінять два типи техніки в парку французьких ВПС: американські літаки-заправники C135 і KC135 і стратегічні транспортники A310 і A340. У військовій програмі країни, розрахованої на 2019-2022 роки, передбачається, що до 2023 року у флот буде поставлено 12 одиниць. Перший літак MRTT A330 Phnix був переданий у розпорядження ВПС Франції 19 жовтня 2018 року [15].

**По-п'яте**, складні процеси підготовки, організації та проведення тендерів та переговорів щодо укладання угод та договорів щодо програм, планів або окремих проектів для придбання авіаційних систем ОБСТ. Як правило процеси придбання авіаційних систем ОБСТ носять комплексний характер. Вони зачіпають не тільки військові та військово-технічні питання, а й економічні, політичні, оборонно-промислові (офсетні програми), розвитку інфраструктури тощо. Наприклад, в Індії в 2007 році стартував тендер MMCA (Medium Multirole Combat Aircraft – «Середній багатоцільовий бойовий літак») з метою закупівлі 126 середніх багатоцільових винищувачів для ВПС Індії. Заявки на конкурс подали шість авіабудівних компаній. В 2011 році були визначені «фіналісти» конкурсу – французький літак Dassault Rafale і європейський - Eurofighter Typhoon. Остаточний результат тендера був оголошений в 2012 році. ВПС Індії вибрали французький винищувач Dassault Rafale. Незабаром після цього стартували переговори щодо майбутнього контракту, з урахуванням офсетної програми. Головною проблемою, що заважала підписанню контракту, стали розбіжності із приводу підходу до виробництва літаків. Індія запропонувала 18 машин купити в готовому виді, а інші 108 - повинні були побудовані індійською компанією HAL. У контракт

індійці прагли включити передачу всіх необхідних технологій і документації, завдяки чому індійське підприємство змогло би у майбутньому зайнятися ліцензійним будівництвом винищувачів.

Спочатку, у 2007 році, в Індії передбачалося, що на закупівлю 126 літаків буде витрачено приблизно \$12 млрд. У 2012 року передбачувана вартість контракту з урахуванням вартості передачі технологій виросла до \$18 млрд. Індія також наполягала на взятті французькою компанією Dassault відповідальності за якість складання винищувачів Rafale на індійських підприємствах. У січні 2014 року компанія Dassault оголосила, що з урахуванням всіх вимог Індії ціна контракту повинна перевищити \$20 млрд, а за оцінками експертів – \$30 млрд. Франція не погодилася на умови Індії і у 2015 році Індія прийняла рішення припинити переговорний процес і закрити тендер MMCA [16]. Станом на 2019 рік Індія розглядає можливість придбання 110 легких винищувачів в рамках тендеру MMCA-2 на суму в \$15-20 млрд.

Збільшення ефективності ВТП з організації складних процесів створення нових, модернізації існуючих або закупівлі зразків нових авіаційних систем ОБСТ в провідних державах здійснюють на основі теорії управління ризиками [5]. За обсягами втрат ризику можливо класифікувати на незначні, малі, середні, великі та катастрофічні відносно вартості всього процесу (програми, проекту тощо). За джерелами виникнення ризику реалізації ВТП з організації вище зазначених процесів можливо розподілити на фінансові, політичні, інвестиційні, інноваційні, маркетингові, комерційні, промислові, науково-технологічні, екологічні, страхові тощо.

Алгоритм управління ризиками з реалізації ВТП з організації процесів створення нових, модернізації існуючих або закупівлі зразків нових авіаційних систем ОБСТ можливо сформулювати в наступній послідовності:

досконалий аналіз організації процесів створення нових, модернізації існуючих або закупівлі зразків нових авіаційних систем ОБСТ та виявлення факторів, які можуть внести негативні моменти в виконання запланованих заходів;

класифікувати ризикові фактори на основі вибраної класифікації;

провести аналіз ризикових факторів, виявити ймовірність їх настання та можливі збитки їх настання для всіх процесів;

розробити план заходів щодо зменшення можливих ризиків у ході виконання запланованих заходів, оцінити його ефективність, затвердити його та здійснити його реалізацію;

встановити моніторинг щодо виконання плану заходів щодо зменшення можливих ризиків, провести оцінку реального впливу заходів та здійснювати розробку додаткових або корегуючих заходів щодо зменшення ризиків.

Не викликає сумнівів необхідність проведення розрахунків ризиків при проектуванні складних зразків озброєння, оскільки, незважаючи на те, що при плануванні зазначених робіт використовується значна кількість вихідних даних, розробниками все частіше

впроваджуються більш складні технічні рішення, компонування, схеми, алгоритми та також відбувається суттєва зміна їх поколінь за рахунок впровадження нових технологій та рішень. У той же час, це призводить до ускладнення проектів, появи безлічі факторів невизначеності, які не можуть бути своєчасно враховані, що створює певні ризики виконання проекту в задані терміни і перегляду бюджету [5].

Якщо існує  $N$  ризикових факторів організації процесів створення нових, модернізації існуючих або закупівлі зразків авіаційних систем ОВСТ, а ймовірність настання  $i$ -го фактора  $P_i$ , і збиток для  $i$ -го фактора буде  $K_i$ , то сумарний ризик  $R$  з організації процесів створення нових, модернізації існуючих або закупівлі зразків авіаційних систем ОВСТ буде

$$R = \sum_{i=1}^N P_i K_i. \quad (1)$$

Регулюючи ймовірність настання  $i$ -го фактора  $P_i$ , або збиток для  $i$ -го фактора  $K_i$ , можливо зменшувати сумарний ризик  $R$ .

Таким чином, методичний підхід з управління ризиками ВТП з організації процесів створення нових, модернізації існуючих або закупівлі зразків авіаційних систем ОВСТ можливо сформулювати так: весь процес проаналізувати, виділити ризикові фактори та класифікувати їх, оцінити ймовірність прояву ризикових факторів та можливий збиток у разі їх настання; розрахувати загальний ризик та оцінити чи допустимий він, чи ні; проаналізувати кожний з ризиків та виявити можливості для їх зменшення; розробити плани зменшення ризиків та прийняти рішення щодо його виконання; встановити систему моніторингу щодо зменшення ризиків та проводити оцінку ефективності діяльності з розробкою корегуючих заходів для зменшення ризиків.

Наприклад, для процесів створення нових, модернізації існуючих або закупівлі зразків авіаційних систем ОВСТ важливими є фінансові ризики із-за великих обсягів необхідних ресурсів. При закупівлі на зовнішніх ринках авіаційних систем ОВСТ важливими будуть ризики зовнішньо-економічної діяльності та воєнно-політичні ризики (можливі санкції, дозволи на передачу технологій тощо), ризики виконання офсетних програм та угод. При розробках авіаційних систем ОВСТ важливими будуть ризики інвестиційно-інноваційної діяльності, наявності нових технологій, своєчасного виконання власних програм та планів, а також робіт з кооперації тощо.

Таким чином, проведений аналіз розвитку авіаційних систем ОВСТ дозволяє констатувати, що провідні країни вже сьогодні формують програми з придбання систем, які будуть на озброєнні в 30-40-х роках XXI ст. Зокрема, США формують вимоги до винищувачів шостого покоління та оснащення їх лазерним, електромагнітним, гіперзвуковим та іншими перспективними типами озброєння. Франція та Німеччина вже розпочали нову спільну програму створення к 2035-2040 рокам перспективної системи «бойового авіаційного комплексу», який буде мати у своєму складі пілотований

винищувач нового покоління з набором нового та модернізованого озброєння, роботизовані БПЛА, які будуть зв'язані в єдину мережецентричну бойову систему. Аналогічну програму перспективної системи «бойового авіаційного комплексу» почала формувати Велика Британія. Японія формує програму розробки та виробництва японськими компаніями ОП нового авіаційного комплексу на базі проекту технологічного демонстратора Х-2 та нових БПЛА і авіаційного озброєння (наприклад, аеробалістичних і гіперзвукових ракет), незважаючи на закупівлю американських літаків F-35. Цей авіаційний комплекс повинен в 30-х роках XXI ст. замінити винищувачі F-2. КНР та РФ також заявили про початок розробки нових авіаційних комплексів шостого покоління.

Розвиток нових технологій дозволяє прогнозувати появу у 30-40-х роках на основі гіперзвукових технологій принципово нових повітряно-космічних систем ОВСТ.

Також ряд країн Західної Європи (Фінляндія, Бельгія, Норвегія, Нідерланди тощо) розпочали формування програм закупівлі авіаційних систем, які будуть знаходитись на озброєнні у 30-40-х роках XXI ст. Прогнози показують, що вартість авіаційних систем в найближчі роки буде перевищувати 50 % від всього світового ринку озброєнь.

Так як нові програми з розробок та закупівлі перспективних систем «бойових авіаційних комплексів» потребують великих ресурсів (фінансових, технологічних, наукових, промислових тощо), то провідні держави корегують свою ВТП щодо обґрунтуванню тактико-технічних та воєнно-економічних характеристик таких авіаційних систем ОВСТ для збройних сил та формують міждержавну кооперацію їх виробництва.

## Висновки

Виходячи з вище зазначеного аналізу, в рамках нової ВТП для обґрунтування закупівлі для ЗС авіаційних комплексів актуальними є питання: розробки методичних підходів щодо аналізу перспектив розвитку авіаційних комплексів та обґрунтування закупівлі таких комплексів для ЗСУ на основі теорії управління ризиками в умовах обмежених ресурсів, які включають наступні заходи:

розробка оперативно-стратегічних вимог для перспективних авіаційних комплексів, які необхідні мати на озброєнні ВПС, виходячи з необхідних перспективних спроможностей ЗСУ (*Генеральний Штаб разом з ВПС*);

попередні воєнно-економічні оцінки вартості необхідних перспективних авіаційних комплексів та ризики їх отримання з визначеними оперативно-стратегічними вимогами з урахуванням як самих комплексів, так і необхідної інфраструктури для їх експлуатації, підготовки фахівців для їх експлуатації, необхідного озброєння та іншого устаткування, що будуть поставлені у встановленні терміни;

попередні оцінки з можливостями визначення необхідних великих фінансових ресурсів та ризиків їх отримання, із залученням як МО, Міністерства фінансів і Уряду України, так й Президента, Ради безпеки і оборони та Верховної Ради України;

розробка відповідними установами (або окремо створеній групі) варіантів стратегій придбання необхідних авіаційних комплексів на внутрішньому або зовнішніх ринках з урахуванням перспектив розвитку вітчизняного ОПК та наявних авіаційних технологій в Україні, включаючи питання організації та проведення тендерів, підготовки запитів до можливих постачальників необхідних авіаційних комплексів на інформацію (англ. Request for information, RFI), на ціни (англ. Request for Quotation, RFQ), на (комерційну) пропозицію (англ. Request for Proposal, RFP) тощо, а також визначення організацій для ведення переговорів (*Міністерство оборони України та інші уповноважені органи КМУ*);

опрацювання варіантів офсетних вимог, які б сприяли розвитку української державної та приватної ОП, у разі закупівлі необхідних авіаційних комплексів за кордоном та оцінка ризиків реалізації офсетних вимог, враховуючи, що обсяг офсетних вимог буде пропорційно впливати на вартість всього контракту із закупівлі необхідних авіаційних комплексів (*Міністерство економічного розвитку і торгівлі України разом з іншими міністерствами*).

Так як питання придбання необхідних авіаційних комплексів для ВПС є дуже актуальними для ЗСУ, то доцільно ці питання проаналізувати при проведенні оборонного огляду та огляду ОПК відповідно до Закону України «Про національну безпеку України», що прийнятий Верховною Радою та введений в дію Президентом України у 2018 році. Також важливим питанням при придбанні необхідних авіаційних комплексів для ВПС стане порядок взаємодії центральних органів виконавчої влади для вирішення вище зазначених питань.

Очевидно, що ефективна реалізація поставлених завдань можлива лише шляхом використання методології програмно-цільового планування розвитку ОВТ, яка повинна врахувати можливості сучасних засобів обробки вихідних даних й тим самим впливати на процеси утворення відповідного інформаційного простору [5].

## СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Указ Президента України від 14 березня 2016 року № 92/2016 «Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 4 березня 2016 року «Про Концепцію розвитку сектору безпеки і оборони України» [Електронний ресурс] – Режим доступу : <http://www.president.gov.ua/documents/922016-19832>.
2. Горбулін В.П. Концептуальні підходи до удосконалення військово-технічної та оборонно-промислової політики України / В. П. Горбулін,
3. О. О. Свергунов // Стратегічні пріоритети. – 2013. – № 1. – С. 110-119.
4. Горбулін В. П. Військово-технічна та військово-промислова політика України: проблеми формування та реалізації / В. П. Горбулін, В. В. Зубарев, П. П. Скурський, С. М. Химченко // Національна безпека: український вимір. – 2009. – № 3 (22). – С. 5-11.
5. Свергунов О. О. Стратегічне планування військово-технічної політики: світовий досвід / О.О.Свергунов//Стратегічні пріоритети.–2013.–№3 (28). – С. 128-137.
6. Головін О. О. Єдиний інформаційний простір – основа ефективної реалізації принципів програмно-цільового планування розвитку озброєння та військової техніки / О. О. Головін // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України – 2018. – № 2 (31). – С. 41-46.
7. Созинов П. А. Направления развития системы воздушно-космической обороны Российской Федерации. Доклад. М.: Алмаз-Антей. 2014. Май. С. 17–18.
8. Франция объявила о разработке гиперзвукового планера. ИА «Взгляд». 27.01.2019 [Електронний ресурс] – Режим доступу : <https://vz.ru/news/2019/1/27/961342.html>.
9. Peck Michael. Now France Wants Hypersonic Missiles by 2021. National Interest. February 4, 2019 [Електронний ресурс] – Режим доступу : <https://nationalinterest.org/blog/buzz/now-france-wants-hypersonic-missiles-2021-43202>.
10. Свергунов О. О. Стратегічне планування військово-технічної політики: світовий досвід / О. О. Свергунов // Стратегічні пріоритети. – 2013. – № 3 (28). – С. 128-137.
11. Минобороны ФРГ изучает возможность закупки американских самолетов F-18 на смену Tornado. ТАСС. 01.02.2019 [Електронний ресурс] – Режим доступу : <https://tass.ru/mezhdunarodnaya-papogama/6069411>.
12. Щербаков В. Пентагон составил тридцатилетний план развития авиации // Независимое военное обозрение 05.03.2010 [Електронний ресурс] – Режим доступу : [http://nvo.ng.ru/armament/2010-03-05/8\\_pentagon.html](http://nvo.ng.ru/armament/2010-03-05/8_pentagon.html).
13. Швеция и Финляндия укрепляют военное сотрудничество. Военный паритет. 18.01.2016 [Електронний ресурс] – Режим доступу : <http://www.militaryparitet.com/>.
14. Парламент Болгарии утвердил закупку современных истребителей вместо российских МиГ-29. LB.ua. 08.06.2018 [Електронний ресурс] – Режим доступу : [https://lb.ua/world/2018/06/08/399913\\_parlament\\_bolgarii\\_utverdil\\_zakupku.html](https://lb.ua/world/2018/06/08/399913_parlament_bolgarii_utverdil_zakupku.html).
15. Минобороны Финляндии может объявить о закупке новых истребителей в ближайшее время. ЦАМТО. 26.04.2018. [Електронний ресурс] – Режим доступу : <http://www.armstrade.org/>.

16. Феникс» расправляет крылья: новая грузовая «лошадка» ВВС Франции. Военное обозрение. 04.02.2019 [Электронный ресурс] – Режим доступа : <https://topwar.ru/>.
17. Индийский тендер MMRCА: три года безрезультатных переговоров. Военное обозрение. 27.01.2015 [Электронный ресурс] – Режим доступа : <https://topwar.ru/67561-indiyskiy-tender-mmrc-a-tri-goda-bezrezultatnyh-peregovorov.html>.

Стаття надійшла до редколегії 18.02.2019 р.

**Рецензент О.О. Расстригин**, д-р техн. наук, с.н.с.  
(Центральний науково-дослідний інститут озброєння  
та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)  
<https://orcid.org/0000-0003-2645-0256>

**Рецензент С.В. Лапицький**, д-р техн. наук, професор  
(Центральний науково-дослідний інститут озброєння  
та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)  
<https://orcid.org/0000-0003-2645-0256>



УДК 355

DOI: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.1\(21\).9-14](https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.1(21).9-14)**O.V. DOKUCHAEV,***Office of the Security Service of Ukraine in the Kharkiv region***O.O. SVERGUNOV,** *National Institute for Strategic Studies of Ukraine***V.V. ZUBAREV,** *Doctor of Technical Sciences, Professor***I.B. CHEPKOV,** *Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Worker of Science and Technology, Laureate of the State Prize of Ukraine in the field of science and technology of Ukraine**(Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine)*

## Evaluation method of realization the policy of military-technical cooperation (mtc) of Ukraine

*Наведено підхід щодо формування методики проведення оцінки стану реалізації оборонно-промислової складової воєнно-технічної політики. Матеріали статті можуть бути корисними для фахівців оборонної галузі України на первинних етапах оцінювання рівню воєнної безпеки держави*

*Ключові слова: воєнна безпека держави, воєнно-технічна політика, експертна оцінка.*

The policy of the MTC as part of the military-technical policy of Ukraine is the process of establishing and applying a set of scientific and organizational grounds, principles, criteria, methods, rules and norms aimed at defining the policy on exports, imports, international cooperation on development, production, modernization and repair of armaments and military equipment (AME). That is, the policy of the MTC as part of the MTP includes that part which is directly related to international transfers of AME, services and production of AME.

Taking into account the objectives of the study, the methodology for assessing the status of the implementation of the MTC policy as part of the MTP of Ukraine is projected.

It is necessary to choose a criterion and apply it to assess the policy of the MTC from the standpoint of the methods of system analysis. The MTC system is an organizational and economic system, which is a collection of state authorities, organizations and enterprises that are in charge of the management of the MTC process, the production and export of military goods (MG), spare parts and services, their interactions and relationships, as well as information links.

Many of the changing factors, such as the global environment, political, economic, military, social and other factors, affect the functioning of the MTC system. The choice of the correct criterion determines the results of evaluating various decision options.

State regulation in the field of military-technical cooperation means the definition of the main areas of activity in accordance with the political, economic and military interests of the state. State authorities within their powers need clear coordination and control of MTC. Every year, the importance of licensing activities for the development, manufacture, modernization, implementation, repair and disposal of MTC, weapons and armament is increasing. State authorities should be more rigorous to impose prohibitions or restrictions on international transfers of MG in accordance with Ukraine's international obligations in order to ensure transparency and protection of the political, economic and military interests of the state. In this, the Stockholm International Institute for Peace Studies often focuses on its expert reports. The Cabinet of Ministers, in the event of various situations in the world market, should provide state guarantees for the implementation of international transfers of MG. In the economic aspect, enterprises of the defense and industrial complex (DIC) should create conditions for preventing competition between the domestic subjects of the MTC on the foreign market.

In order to increase the efficiency of the MTP of Ukraine, it is necessary to clearly outline the powers of state authorities on issues of national security policy and policy of the MTC.

### *The task of developing a methodology*

Appointment of the methodology – an assessment of the status of formation and implementation of the MTC policy as part of the MTP of Ukraine by the determined indicators and criteria.

Taking into account that the assessment of the status of formation and implementation of the MTC policy as part of the MTP of Ukraine is multicriteria with a large number of uncertainties and contradictions, then the methodology development will be carried out on the basis of statistical and system analysis using expert methods and conceptual approaches used in the work [1].

Many factors contribute to the formation and implementation of the MTC policy as part of the MTP [8-12]. Therefore, we will evaluate the MTC policy as a part of the MTP on the basis of multifactorial analysis [3, 4].

On the basis of statistical, normative-legal, scientific, and research information necessary for the proper preparation of methodological and analytical materials in the field of state MTP, the problem will be analyzed in three planes:

- military aspects of the MTC policy as part of the MTP;
- political aspects of the MTC to ensure the MTC policy as part of the MTP;
- economic aspects of the policy of the MTC as part of the problems of the formation and implementation of the MTP.

To develop a methodology for assessing the condition of implementation of the MTC policy as a component of the MTP of Ukraine, we use the mathematical apparatus presented in the paper [1].

Evaluation algorithm

Evaluate the state of formation and implementation of the MTC policy as part of the MTP of Ukraine is proposed by the algorithm formulated and used in the work [1].

The main features of the application of this algorithm in relation to the assessment of the state of formation and implementation of the MTC policy as part of the MTP are:

- definition of indicators for assessing the formation and implementation of the MTC policy as a component of the MTP;
- the formation of questionnaires taking into account all the features of the task of assessing the MTC policy as part of the MTP.

Expert evaluation is carried out according to the steps defined in [1, 2].

Criteria and indicators for assessing the MTC

The content of the MTC of Ukraine with foreign countries is the activities of authorized state authorities, organizations and enterprises, public and private companies and companies involved in the development, production, sale or purchase of military products, as well as with the planning, coordination and services of the military appointment. In theory, the PTS of Ukraine should pursue the following main goals:

**in the military sphere** – to ensure or balance the development of the combat capabilities of their own Armed Forces on the basis of the scientific and technological achievements of the national defense-industrial complex (DIC), as well as the use of scientific and technological achievements of foreign countries in their own interests;

**in the political sphere** – conquest (retention) and strengthening of political leadership in Ukraine’s vital national interests in countries and regions of the world; ensuring the ability, through the PTS, to influence the political, economic or military situation at the global or regional levels;

**in the economic sphere** – the receipt of currency funds for state needs (primarily for financial assistance to defense industries, restructuring of military production, utilization of weapons and equipment, etc.), increasing the competitiveness of Ukraine’s military products on the world market of armaments and, thus, its share in the world economy.

In determining the criteria, expert assessments are used with all their disadvantage, although for many systemic analysis tasks that are difficult to formalize, this is the only way to construct a criterion.

In determining the integral criterion for evaluate the state of formation and implementation of the MTC policy as part of the MTP of Ukraine and the complex indicators (factors), the approaches presented in [1, 5, 6, 7] were used. As an integral criterion for evaluate the state of formation and implementation of the MTC policy of Ukraine, we will determine the effectiveness of the policy on a set of complex indicators (factors), which determine the overall assessment of the MTC policy as a component of the MTP. The effectiveness of the MTC policy as a component of the MTP  $E$  will be defined as follows:

$$E = \sum_{i=1}^n k_i K_{if} , \quad (1)$$

where  $k_i$  – weighted coefficients of complex factors;  $K_{if}$  – value  $i$ -th complex factor;  $n$  – is the number of complex factors.

Weight factors of complex factors are determined on an expert level. In the presence of a group of experts, the value of complex factors are found is an average.

Define the scale of the evaluation MTC policy as a component of the MTP in the form of interval values as shown in Table. 1

Table 1  
Scale for evaluating the PTS performance indicator

MTC policy as part MTP	The value of the indicator $E$
Very effective	$E \geq 0.8$
Effective	$0.8 > E > 0.6$
Insufficiently effective	$0.6 > E > 0.4$
Ineffective	$0.2 < E \leq 0.4$
Very ineffective	$E \leq 0.2$

Substantiation of indicators in the political, economic and military spheres characterizing the effectiveness of the operation of the MTC

The content of the MTC of Ukraine with foreign states is the export-import activity of the executive authorities of the state, organizations and enterprises that are involved in the development, production, sale or purchase of military products, as well as with planning, coordination and

military services. The MTC of Ukraine has both an export component and an imported one. In recent years, the import of AME has a number of problematic aspects, namely:

military aspects of technical equipment of the Armed Forces and other military formations of Ukraine: ensuring strategic stability, strengthening Ukraine’s military-political positions, etc.;

political aspects of international cooperation Ukrainian defense industrial complex for the production of weapon systems. First of all, it is the provision of access to scientific and technological achievements of foreign countries for the purpose of their further use by the national defense industrial complex to create effective AME systems;

direct procurement of foreign AME for the needs of the military organization of the country (MOC), economic item of AME disposal, etc.

Based on the foregoing, **complex indicators (factors) that significantly affect the policy of the MTC as a component of the MTP, are:**

assessment of military aspects of the formation of the MTC policy as a component of the MTP (indicator in the military sphere);

assessment of political aspects of the MTC policy as a component of the MTP (indicator in the political sphere);

assessment of the economic aspects of the MTC policy as a problem of formation and implementation of the MTP (indicator in the economic sphere).

*Characteristics of complex indicators*

**The military aspects of the formation of the MTC policy as a component of the MTP, we will evaluate on factors (indicators):**

*E ess* – the level of ensuring strategic stability and security in the regions of the world vital for Ukraine’s national interests;

*E mpp* – the level of strengthening of Ukraine’s military-political positions in the regions of the world vital to Ukraine’s national interests;

*E imp* – indicator of support at sufficient level of Ukrainian military potential.

**The political aspects of the MTC policy as a component of the MTP, we will evaluate on indicators:**

*E rpl* – the level of conquest (retention) and strengthening of political leadership in the regions of the world vital for Ukraine’s national interests;

*E pir* – the level of ensuring the possibility of political influence at the global and regional levels of the world;

*E psp* – the level of provision of social protection of personnel of enterprises developing and producing military purpose goods (MPG).

**The economic aspects of the MTC policy as a problem of formation and implementation of the MTP will be assessed by the indicators:**

*E soe* – the total amount of exports of MPG per year;

*E pso* – growth of the total amount of exports for the year compared to the previous year;

*E aop* – the amount of the export orders portfolio of the MPG;

*E iop* – increase in the amount of the orders portfolio for export of MPG;

*E eee* – amount of foreign exchange earnings from exports per year;

*E iee* – increase the amount of foreign exchange earnings from exports per year;

*E psd* – the level of the share of payment at the expense of the state debt in the total amount of export of MPG per year;

*E bso* – the level of the balance of the structure of orders;

*E dfm* – the amount of purchases of MPG and dual use (DU) of foreign manufacture;

*E ofei* – the cost of offset contracts for the export and import of MPG and DU.

Indicators for the monitoring of the MTC of Ukraine with foreign countries are given in Table. 2

Table 2  
Indicators for evaluating the status of the MTC

№	Name of indicator	Conditional abbreviated designation
1	<b>Indicators in the political sphere</b>	
1.1	The level of conquest (retention) and strengthening of political leadership in the regions of the world vital for Ukraine’s national interests	<i>E rpl</i>
1.2	The level of ensuring the possibility of political influence at the global and regional levels of the world	<i>E pir</i>
1.3	the level of provision of social protection of personnel of enterprises developing and producing military purpose goods MPG and DU	<i>E psp</i>
2	<b>Indicators in the economic sphere</b>	
2.1	The total amount of exports of MPG and DU per year	<i>E soe</i>
2.2	Growth of the total amount of exports for the year compared to the previous year	<i>E pso</i>
2.3	the amount of the export orders portfolio of the MPG and DU	<i>E aop</i>
2.4	Increase in the amount of the orders portfolio for export of MPG and DU	<i>E iop</i>
2.5	Amount of foreign exchange earnings from exports per year	<i>E eee</i>
2.6	Increase the amount of foreign exchange earnings from exports per year	<i>E iee</i>
2.7	The level of the share of payment at the expense of the state debt in the total amount of export of MPG and DU per year	<i>E psd</i>
2.8	The level of the balance of the structure of orders	<i>E bso</i>
2.9	The amount of purchases of MPG and dual use (DU) of foreign manufacture	<i>E dfm</i>
2.10	The cost of offset contracts for the export and import of MPG and DU	<i>E ofei</i>
3	<b>Indicators in the military sphere</b>	

№	Name of indicator	Conditional abbreviated designation
3.1	The level of ensuring strategic stability and security in the regions of the world vital for Ukraine's national interests	<i>E ess</i>
3.2	The level of strengthening of Ukraine's military-political positions in the regions of the world vital to Ukraine's national interests	<i>E mpp</i>
3.3	Indicator of support at sufficient level of Ukrainian military potential	<i>E imp</i>

The general positions of this assessment are reduced to the fact that the effectiveness of the MTC is estimated for each sphere (political, economic, military) according to the relevant indicators.

**Military sphere.** The total efficiency rate of MTC in the military sphere  $E_B$  can be represented as follows:

$$E_B = \sum_{l=1}^L r_l \times Y_l, \tag{2}$$

where  $L$  – the number of indicators of the MTC's effectiveness in the military sphere;  $r_l$  – weight coefficient, determined by expert method;  $Y_l$  – the significance of the indicators of the MTC's effectiveness in the military sphere.

Using conditional abbreviations in Table 2, Table 3 shows the values of the weighting coefficients  $r_l$ , which correspond to the values of the MTC performance indicators in the military sphere.

Table 3  
Weighting coefficients of indicators of the MTC's effectiveness in the military sphere

Designation of the factor and its components	Conditional abbreviated designation of the indicator (factor) of influence BTC	Marking of the weight coefficient of influence	The value of the weight coefficient of influence
$Y_1$	<i>E ess</i>	$r_1$	<b>0,3</b>
$Y_2$	<i>E mpp</i>	$r_2$	<b>0,3</b>
$Y_3$	<i>E imp</i>	$r_3$	<b>0,4</b>

**Political sphere.** The total efficiency rate of MTC in the political sphere can be represented as follows:

$$E_{II} = \sum_{i=1}^M r_i \times Y_i, \tag{3}$$

where  $M$  – is the number of indicators of the MTC's effectiveness in the political sphere;  $r_i$  – weighted coefficient, determined by expert method;  $Y_i$  – the significance of the indicators of the PTS's effectiveness in the political sphere.

Using conditional abbreviations in Table 2, Table 4 shows the weighting coefficients  $r_i$ , which correspond to the value of the indicators of the MTC performance indicators in the political sphere.

Table 4

Weighting coefficients of indicators of the MTC's effectiveness in the political sphere

Designation of the factor and its components	Conditional abbreviated designation of the indicator (factor) of influence BTC	Marking of the weight coefficient of influence	The value of the weight coefficient of influence
$Y_1$	<i>E rpl</i>	$r_1$	<b>0,4</b>
$Y_2$	<i>E pir</i>	$r_2$	<b>0,3</b>
$Y_3$	<i>E psp</i>	$r_3$	<b>0,3</b>

**Economic sphere.** The total efficiency rate of MTC in the economic sphere can be represented as follows:

$$E_E = \sum_{j=1}^Q r_j \times Y_j, \tag{4}$$

where  $Q$  – is the number of indicators of the MTC's effectiveness in the economic sphere;  $r_j$  – weight coefficient determined by the expert method;  $Y_j$  – the significance of the indicators of the PTS's effectiveness in the economic sphere.

Using conditional abbreviations in Table 2, Table 5 shows the weighting coefficients  $r_j$ , which correspond to the value of the indicators of the MTC performance indicators in the economic sphere.

Table 5

Weighting coefficients of indicators of the MTC's effectiveness in the economic sphere

Designation of the factor and its components	Conditional abbreviated designation of the indicator (factor) of influence BTC	Marking of the weight coefficient of influence	The value of the weight coefficient of influence
$Y_1$	<i>E soe</i>	$r_1$	<b>0,2</b>
$Y_2$	<i>E pso</i>	$r_2$	<b>0,1</b>
$Y_3$	<i>E aop</i>	$r_3$	<b>0,1</b>
$Y_4$	<i>E iop</i>	$r_4$	<b>0,2</b>
$Y_5$	<i>E eee</i>	$r_5$	<b>0,1</b>
$Y_6$	<i>E iee</i>	$r_6$	<b>0,05</b>
$Y_7$	<i>E psd</i>	$r_7$	<b>0,1</b>
$Y_8$	<i>E bso</i>	$r_8$	<b>0,05</b>
$Y_9$	<i>E dfm</i>	$r_9$	<b>0,05</b>
$Y_{10}$	<i>E ofei</i>	$r_{10}$	<b>0,05</b>

Taking into account the following as an integral indicator of the efficiency of the MTC of Ukraine, the following equation can be used:

$$E = p_1 E_{II} + p_2 E_E + p_3 E_B = p_1 \sum_{i=1}^M r_i Y_i + p_2 \sum_{j=1}^Q r_j Y_j + p_3 \sum_{l=1}^L r_l Y_l, \tag{5}$$

where  $p_1, p_2, p_3$  – weighted coefficients (determined by the expert method).

### Method for evaluation of formation of the MTC policy as a component of the MTP, proceeding from the military (military sphere) aspects

On the basis of the expert estimation method, we will present an approach to the analysis of the efficiency of the MTP in terms of the effectiveness of the formation of the MTC policy as a component of the MTP.

The policy of the subsystems of the MTC directly affects both the MTP in general and the military-political stand (MPP). Therefore, it is important to develop a methodical apparatus for assessing the impact of military factors on the policy of the MTC as a component of the MTP, and in the future, the development of recommendations for the improvement of the MTP.

Taking into account the analysis and designation in the Table 2, the expert evaluation of the complex coefficient (assessment of the formation of the policy of the MTC as part of the MTP, based on military aspects), can be calculated by the formula

$$E_B = \sum_{i=1}^L r_i \times Y_i, \quad (6)$$

where  $r_i$  and  $y_i$  – weighted coefficients determined by the expert method. They take into account the levels of:

ensuring strategic stability and security in the regions of the world vital for Ukraine's national interests;

strengthening of Ukraine's military-political positions in the regions of the world vital to Ukraine's national interests;

support at sufficient level of Ukrainian military potential.

### Method for evaluation of formation of the MTC policy based on political aspects

In this section, based on the method of expert evaluations, describes a methodological approach to analyzing the effectiveness of the MTC policy in terms of evaluation the political aspects of the formation and realization of this policy.

Various institutions of power (the President of Ukraine, the National Security and Defense Council of Ukraine, the Cabinet of Ministers, the Verkhovna Rada, etc.) are influenced by decisions of strategic importance in formation of the MTC policy.

Based on the institutional system (structure), the formation and organization policies MTC and MTP affected by the following factors:

political leadership of Ukraine in the international arena;  
the distribution of powers of the state authorities regarding the formation and realization of the MTC in the state;  
creation of the regulatory and legal base of the MTC;  
creation of the MTC system in the state.

Relevant for Ukraine is the legal framework within MTC participation of Ukrainian entities in international associations created for projects of research, development, production, modernization and disposal of AME. To date, there are not defined rights (including the results of intellectual activity) of entities in the processes of the creation of AME with the use of domestic and foreign investors, not worked

out normative documents on the management of DIC in the performance of the tasks of ensuring the defense sufficiency of the state, including institutions of various forms property.

Therefore, it is important to develop a methodical apparatus for evaluating the policy of the MTC, and in the future to develop recommendations for the improvement of this policy from the point of view of the political system (structure) of the state.

Taking into account the analysis and designation in the table 2, the expert value of the complex coefficient of evaluation of political aspects of the policy of the MTC as a component of the MTP can be calculated by the formula

$$E_{II} = \sum_{i=1}^M r_i \times Y_i, \quad (7)$$

where  $r_i$  and  $y_i$  – weighted coefficients determined by the expert method. They take into account the levels of:

conquest (retention) and strengthening of political leadership in the regions of the world vital for Ukraine's national interests;

ensuring the possibility of political influence at the global and regional levels of the world;

provision of social protection of personnel of enterprises developing and producing military purpose goods MPG.

### REFERENCES

1. Methodological aspects of the evaluations of the state of the MTP and its components: science-method. edition. / V.P. Gorbulin (lead author), V.V. Zubarev, O. P. Kutovy, O. O. Svergunov, S. M. Khimchenko. – K.: Inter technology, 2009. – 204 p.
2. Yankevich V.F. Method of analysis of hierarchies: modification of the system of expert evaluations and their mathematical processing / Yankevich V.F., Kotsiubinskaya G. F. // US and M. – 1996. – № 1/2. – 85-91p.
3. Samokhvalov Yu. A. Perfection of the method of analysis of hierarchies as a methodological basis of decision support systems // US and M. – 1996. – № 1/2. – 91-96 p.
4. Brahman T. Multi-criterion and choice of alternative in technics. – Moscow: Radio and Communication, 1984. – 287 p.
5. System-conceptual bases of activity in the military-technical field. In 2 books. Book 1. Conceptual foundations and elements of national security, Edit B. A. Demidova. – K., 2004. – 736 p.
6. System-conceptual bases of activity in the military-technical field. In 2 books Book 2. Organizational-methodical bases of activity in military-technical area. Edit B. A. Demidov. – K., 2006. – 1152 pp.
7. Olshevsky V.I. Strategy of recreation of civil and defense machine building (theory and practice). – K.: MI-IVTS, 2001. – 418 p.
8. Strategic management of military-technical cooperation in the interests of ensuring the military security of Ukraine: monograph / Begma V.M. [and others]. – K.: IPNB, NAOU, 2005. – 228 p.
9. Begma V.M. Offset practice in the system of the Ukrainian MTC as a factor of ensuring the economic security

- of the state / Begma V.M., Moklyak S.P., Tolokny Yu.V. // Strategic priorities. – 2010. – № 4 (17). – 101-103 p.
10. Military-technical cooperation: Ways of perfection: monograph / V. O. Smirnov, V. M. Begma, A. M. Riabec, V. V. Tomchuk; – K.: Central Research Institute of Arms and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine, 2010. – 216 p.
11. Borokhvostov V.K. Military-technical cooperation of Ukraine and Russia: the state, prospects, problems // Defense Express. – 2002 – № 6
12. Offset policy of states in the conditions of globalization: Estimates and forecasts / V.M. Begma, S. P. Moklyak, O. O. Svergunov, Yu. V. Tologniy. – K .: NISS, 2011. – 352 p.

Стаття надійшла до редколегії 01.10.2018 р.

**Рецензент С.В. Лапицький**, д-р техн. наук, професор  
(Центральний науково-дослідний інститут озброєння  
та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)  
<https://orcid.org/0000-0003-2645-0256>

УДК 623.98, 303.444

DOI: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.1\(21\).15-21](https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.1(21).15-21)**А.С. ДОВГОПОЛИЙ,***доктор технічних наук, професор***В.В. СОТНИК,** *кандидат технічних наук, старший науковий співробітник***В.В. ТОМЧУК,** *кандидат технічних наук, старший науковий співробітник***З.М. КОПИЛОВА,** *старший науковий співробітник***Е.Б. БУРА,** *науковий співробітник**(Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)*

## Пріоритетний розвиток критичних технологій – запорука зміцнення обороноздатності та економічного зростання держави

*Розглянуто світовий досвід розвитку критичних технологій, проаналізовано стан розвитку цієї сфери в Україні та розроблено деякі пропозиції для подолання проблем на шляху розвитку науково-технологічної сфери держави*

*Ключові слова: пріоритетні напрямки розвитку, критичні воєнні технології.*

*Рассмотрен мировой опыт развития критических технологий, проанализировано состояние развития этой сферы в Украине и разработаны некоторые предложения для преодоления проблем на пути развития научно-технологической сферы государства*

*Ключевые слова: приоритетные направления развития, критические военные технологии.*

Рівень розвитку науки і техніки є одним із головних чинників прогресу людського суспільства, підвищення матеріального добробуту громадян держави, їх інтелектуального та духовного зростання, що зумовлює необхідність пріоритетної державної підтримки розвитку науки і технологій.

Мета статті полягає в узагальненні світового досвіду розвитку критичних (ключових) технологій (КТ), аналізі стану цієї сфери в Україні та розробці пропозицій для подолання проблем на шляху розвитку науково-технологічної сфери держави.

Так в США, у 1989 році, щоб уникнути економічного відставання й забезпечити безпеку країни, була ініційована федеральна програма “Національні критичні технології” (National Critical Technologies, NCT). Основна мета програми – організація та проведення систематичного аналізу стану найважливіших (для економіки й безпеки держави) технологій в інтересах підтримки прийняття органами законодавчої та виконавчої влади державних рішень в сфері науки і техніки. Планування і організація робіт за програмою NCT було покладено на Національну раду по науці і техніці (NSTP).

В умовах бурхливого росту обсягу комерційних науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт (НДДКР) у загальному обсязі фінансування НДДКР у США в період з 1990 по 1995 рік було ухвалене рішення про передачу програми NCT під управління Міністерства оборони та про надання їй оборонної спрямованості.

В 1995 році програма була перейменована та отримала назву Militarily Critical Technologies Program, MCTP (Програма воєнних критичних технологій). Основна мета цієї довгострокової програми – систематичне вивчення та оцінка всього спектру технологій, що вже використовуються при створенні озброєння та військової техніки (ОВТ) або потенційно здатні зацікавити військове відомство.

Формування переліків критичних технологій відбувається на основі науково-технічних критеріїв, що відбивають відомчу й національну специфіку. При цьому переліки США більшою мірою враховують інтереси оборони, а західноєвропейські – відбивають прагнення додати більш фундаментальний характер національним технологічним програмам. Визначення пріоритетів науково-технічного розвитку країн і складання переліків критичних технологій ґрунтується на широкому використанні експертизи в комбінації з методиками “Дельфі” і “Форсайт”, сутність яких полягає у прогнозуванні появи нових високих технологій, впливу майбутніх наукових розробок на методи ведення війн, на розвиток певних галузей промисловості тощо шляхом заочного, багаторівневого та анонімно опитування висококваліфікованих експертів з метою отримання колективної думки з високим ступенем достовірності та надійності [1, 2].

Розробка технологічних прогнозів, заснованих на методі “Дельфі”, – це спроба передбачити розвиток тієї або іншої технології на тривалу перспективу (20 – 30 років). “Форсайт” це механізм визначення пріоритетів державної науково-технічної політики країн. Цей метод передбачає спільне із промисловістю визначення перспективних ринків і технологій на найближчі 10 – 20 років на основі

рекомендацій, що виникають із аналізу реально наявних ресурсів, як матеріальних, так і інтелектуальних, а також можливостей їх зміцнення й нарощування.

З метою формування переліків критичних технологій в США була розроблена автоматизована інформаційна система і відповідна база даних, що містить докладний опис критичних технологій. За замовленням МО США щорічно ведеться науково-дослідна робота з удосконалення переліків критичних воєнних технологій.

Експертні оцінки використовуються Західними країнами й при розробці пріоритетних державних програм щодо розвитку критично важливих технологій, реалізація яких дозволяє здійснювати регулюючі функції держави в сфері розвитку високих технологій. Державна підтримка дає можливість промислово розвиненим країнам успішно конкурувати на ринках наукомісткої продукції та забезпечувати необхідний рівень технологічної й оборонної безпеки.

В 2013 фінансовому році керівництвом Пентагону було ухвалене рішення про перетворення програми МСТР у новий проект під назвою “Оцінка стану й рівнів розвитку критичних технологій” – Critical Technology Assessments. В бюджетному запиті військового відомства на 2014 фінансовий рік цей проект був включений окремим розділом в загальну програму з назвою “Аналіз оборонних технологій” – Defense Technology Analysis [3].

У країнах ЄС (Франція, Чехія, Нідерланди та ін.) питання КТ головним чином розглядались у межах програм науково-технологічного прогнозування за допомогою методології Форсайту [4].

В колишньому СРСР систематичні спроби вибору науково-технологічних пріоритетів також мають досить довгу історію. Ще в 1980-і роки в Комплексній програмі науково-технічного прогресу СРСР відзначалася необхідність у період 1991-2010 років інтенсифікувати дослідження в області електроніки, інформатики й обчислювальної техніки, нових матеріалів, наук про життя, наукового приладобудування, а також практично у всіх областях фундаментальної науки. Найважливіші напрямки науки, технології й продукти розглядались також в рамках підготовки Комплексного прогнозу соціально-економічного і науково-технічного розвитку СРСР на 1996-2015 роки.

В Російській Федерації (РФ) подібні роботи здійснювались експертними групами Ради безпеки Росії, Держкомпрома, Комітету Російської Федерації по машинобудуванню й ряду інших міністерств і відомств.

В таблиці наведено програми національного рівня деяких країн, направлені на розвиток критичних технологій.

Огляд фахових публікацій свідчить, що у період зростання масштабів конкуренції як між окремими високотехнологічними компаніями, так і між країнами, де головним фактором економічного зростання є науково-технологічна сфера, дослідженнями проблем критичних технологій займалась значна кількість науковців, зокрема вітчизняних. В Україні нормативно-правове забезпечення критичних технологій почало впроваджуватись після 1993 року, коли окремими постановами Кабінету Міністрів України були прийняті рішення з розвитку і

захисту вітчизняних критичних технологій [5–8]. Проблеми планування і стимулювання критичних технологій в інтересах забезпечення обороноздатності України розглядались у роботах В. Горбуліна [9], О.Величка [10], окремі підходи до формування сучасних переліків критичних технологій в Україні та світі – у роботах Т. Писаренко, Т. Кваши, В. Дихановського, Д. Заклевського, О. Юрченка [11 – 14]. У межах досліджень проблеми економічної безпеки України проблемами критичних технологій займались В. Шлемко, І. Бінько [15]. Окремі наукові дослідження щодо визначення вітчизняних критичних технологій проводились у рамках державних програм прогнозування науково-технологічного та інноваційного розвитку України [16, 17].

Сучасний етап розвитку ОБТ характеризується підвищенням ролі науки та новітніх технологій. В цілому ряді вітчизняних та закордонних досліджень зазначається, що рівень тактико-технічних характеристик практично всіх типів ОБТ у рамках фізичних ефектів (принципів), на основі яких вони створені, технічних рішень та технологій, досяг своєї межі (закон переходу кількісних змін у якісні, крива S – подібного розвитку технічних систем) [18]. Тому подальший розвиток новітніх озброєнь можливий лише шляхом впровадження проривних науково-технологічних досягнень, критичних (ключових) технологій, створення на їх основі мультиплікаторних зразків, комплексів, систем ОБТ та застосування нетрадиційних підходів.

На жаль, доводиться констатувати відставання України в галузі технологій від держав – “нових” членів НАТО та ЄС на 5-10 років, а від передових держав-лідерів (США, окремі держави ЄС, Японія, Південна Корея) на 15-20 років. Бурхливий технологічний розвиток спостерігається також в Китаї та Туреччині, що поступово наближає ці країни до держав-лідерів.

На сьогодні в Україні існує ряд невирішених проблем, що заважають розвитку її науково-технологічної сфери та забезпеченню національної безпеки і оборони.

В промисловості України, наукових та освітніх закладах всіх форм власності технологічний та лабораторний парк зношені фізично і морально більше ніж на половину, а в деяких випадках навіть на 90 – 100%.

Підтримання боєготовності наявного ОБТ, забезпечення безпеки експлуатації об’єктів енергетики (атомні, теплові, гідроелектростанції, газові та електромережі) та більшості об’єктів інфраструктури потребує негайного вирішення проблеми імпортозаміщення та диверсифікації (в першу чергу – елементної бази), оскільки історично склалась суттєва залежність від поставок і обслуговування з боку держави-агресора РФ.

Відсутні чіткі внутрішні нормативно-правові акти та міжнародні договори з іншими державами щодо забезпечення боєготовності ОБТ, безпечності експлуатації об’єктів енергетики та інфраструктури.

Відсутній чіткий розподіл функцій та відповідальності органів виконавчої влади, які б належним чином формували та координували воєнно-технічну та оборонно-промислову політики, розвивали науково-технологічну базу.



Таблиця

## Програми, які направлені на розвиток критичних технологій

Країна, назва програм	Замовник, роки реалізації	Прогнозований період	Основні результати
США, “Національні критичні технології”	Національна рада по науці і техніці, 1990-1995 рр.	5-10 років	Перелік критичних технологій
Нідерланди, “Технологічний Радар”	Міністерство економіки, 1998 р.	10 років	Перелік критичних технологій
США, “Критичні воєнні технології”	Національна рада по науці і техніці, 1995 р.	5-10 років	Перелік критичних технологій
Франція, “Ключові технології”	Міністерство економіки, фінансів і промисловості, 1996, 2000, 2005 рр.	5-10 років	Перелік критичних технологій
Чехія, “Пропозиції для національної дослідницької програми”	Міністерство освіти і науки, 2002-2007 рр.	10 років	Пропозиції щодо тематики для національної дослідницької програми (2002-2007 рр.). Пропозиції з розподілу структурних фондів, що виділила Єврокомісія для Чеської Республіки (5 млрд. євро на 2007-2012 рр)
РФ, “Пріоритетні напрямки і критичні технології”	Міністерство освіти і науки РФ, 1996, 2002, 2006 рр.	10 років	Перелік пріоритетних напрямів розвитку науки, технологій і техніки. Перелік критичних технологій
РФ, “Розвиток науки і технологій”	Міністерство освіти і науки РФ, 2013-2020 рр.	8 років	Пропозиції щодо розвитку конкурентоспроможних напрямків фундаментальних і пошукових наукових досліджень. Перелік критичних технологій
РФ, “Дослідження та розробки по пріоритетних напрямках розвитку науково-технологічного комплексу Росії на 2014-2020 роки”	Міністерство освіти і науки РФ, 2014-2020 рр.	7 років	Формування системи пріоритетів розвитку науково-технологічної сфери, що враховує конкурентні переваги в різних галузях науки. Перелік критичних технологій
США, “Оцінка стану й рівнів розвитку критичних технологій”	Національна рада по науці і техніці, 2013 р.	5-10 років	Перелік критичних технологій

Недостатність фінансування фундаментальної і прикладної науки призвела до того, що Україна є донором південно-азіатських держав з точки зору продажу за безцінь передових технологій науково-дослідних установ Національної академії наук України (НАН України) й університетів Міністерства освіти і науки України.

Відсутнє нормативно-термінологічне визначення щодо технологій, які слід відносити до критичних для забезпечення обороноздатності та безпеки держави.

Таким чином, назріла гостра потреба у розв'язанні існуючих проблем розвитку науково-технологічної сфери держави і, в першу чергу, – проблеми розвитку критичних (ключових) технологій в Україні, як шляху **забезпечення національної безпеки й оборони** та економічного розвитку держави.

Проблему розвитку критичних (ключових) технологій держави доцільно розглядати на трьох рівнях.

1. Поточні критичні (ключові) технології – це вже існуючі технології, але які є критичними для України в умовах триваючої агресії з боку РФ. Такий технологічний “дефіцит” створює сприятливі умови для економічного та технологічного тиску агресора на Україну. Поточні критичні (ключові) технології, які є запорукою обороноздатності і національної безпеки в цілому і забезпечують:

– боеготовність наявного ОВТ всіх силових структур;

– безпечність безперебійної експлуатації об'єктів енергетики, а також безперебійне постачання джерел енергії;

– безпечність функціонування інфраструктури (аеродроми, порти, транспортна інфраструктура).

2. Критичні (ключові) технології, необхідні для виконання нових ДКР, технології, які дозволяють протягом 3-5 років створити новітні зразки ОВТ, нові об'єкти енергетики та інфраструктури, які будуть відповідати світовому рівню на момент їх створення.

3. Критичні (ключові) проривні технології – це технології, які створюють передумови (на період 10-15 років і більше) для отримання стрибкоподібних змін якості ОВТ, забезпечують вирішення принципово нових воєнно-технічних задач, значний приріст тактико-технічних характеристик ОВТ або значне зниження ресурсних витрат, появу нових джерел енергії, нових форм і способів застосування військ (сил), нових методів ведення війни чи засобів нейтралізації загроз оборонній та національній безпеці. Ці технології створюють нові, виняткові перспективи для стрибкоподібної зміни конкурентного стану держави на світовому рівні.

Критичні, ключові чи основні технології – всі ці терміни стосуються технологій, які з певних причин виділяються з-серед інших. Щодо існуючих понять, то у

наявних фахових джерелах можна зустріти визначення як безпосередньо критичних технологій, так і синонімічних понять: ключових, перспективних, рубіжних, закриваючих, відкриваючих, підривних, системоутворюючих технологій. І хоча у загальному розумінні ці визначення розглядаються як КТ, однак фахівці визначають деякі їхні відмінності. [4, 11, 19, 20].

Експертні уявлення про КТ вказують, що процес їх визначення залежить від того, що вкладається у розуміння поняття критичності або з якими істотними ознаками ця критичність пов'язана. У більшості випадків визначення поняття критичності наближено до визначення поняття пріоритетності, а в окремих випадках КТ використовується як головний критерій при виявленні пріоритетних технологій як для цілих секторів економік країн, так і для окремих компаній.

Таким чином, **КТ – це виняткові, переломні, перехідні, вирішальні технології, для яких визначальними обставинами є час їх появи та проблемно-орієнтована специфічність дій. Іншими словами, КТ – це технології для конкретного місця і часу, які вирішують окрему проблему, яка перебуває «на межі», змінюючи стан системи, або технології, які створюють нові, виняткові перспективи, які виводять їхніх власників за існуючі межі конкуренції.**

В розпорядженні Кабінету Міністрів України від 30 серпня 2017 р. № 600-р “Деякі питання розвитку критичних технологій у сфері виробництва озброєння та військової техніки” затверджено перелік критичних технологій у сфері виробництва озброєння та військової техніки та план заходів державної підтримки розвитку критичних технологій. Однак в цьому документі не має визначення щодо технологій, які слід відносити до критичних для забезпечення обороноздатності та безпеки держави.

Для вирішення проблем, що були зазначені вище, зовнішня політика держави повинна бути направлена на входження України в кооперацію з державами-лідерами і знаходженні своїх ніш у продукуванні не тільки технологій і знань, але й продукції з високим рівнем доданої вартості.

Неприпустимим є лише ситуативне врегулювання проблемних питань, життєво важливими для держави на даному етапі є системні комплексні кроки.

Науково-технічна політика держави повинна полягати у розробці або корегуванні нормативно-правових актів щодо збереження та розвитку критичних (ключових) технологій, створенні державної системи управління та інфраструктури критичних (ключових) технологій, механізмів їх відбору (система пріоритетів) та ресурсної державної підтримки. Необхідно створити економічні умови, які б зупинили еміграцію за кордон талановитих вчених, конструкторів, технологів. Англійський філософ Томас Гоббс ще в XVII сторіччі писав, що людьми рухає вигода. Карл Маркс в XIX сторіччі стверджував, що історія є не що інше, як діяльність людей, які переслідують свої цілі. Тим, хто відповідає за критичні технології, необхідно засвоїти, що наукові відкриття й технологічні розробки повинні бути вигідні тим, хто їх здійснює, і поки цього не буде, держава й економіка теж

не одержать ніякої вигоди від науки й освіти, залишаться без сучасних технологій, а отже, і без конкурентоспроможної продукції.

На державному рівні потрібні заходи, реалізація яких забезпечить подолання або суттєве скорочення технологічного відставання від країн-лідерів.

Це може бути закупівля передових технологій, заводів, які продукують перспективні засоби виробництва та роботизовані лінії тощо. Прикладом може слугувати досвід урядів Південної Кореї, Китаю, Турції та інших держав.

“Економічне чудо” Південної Кореї ґрунтується на науково-технічній політиці, як основи промислової політики держави. Для її наукового обґрунтування, формування і реалізації у 1966 році був створений перший дослідний інститут – Корейський інститут науки і технологій KIST (Korean Institute of Science and Technology). Стратегією держави та основним завданням KIST була співпраця з промисловістю у стратегічних галузях щодо використання, вивчення, адаптації та покращення іноземних технологій для внутрішнього використання.

Корейський уряд використовував іноземні кредити для інвестування визначених ним ключових галузей промисловості та реалізації проектів будівництва заводів, транспортної, соціальної та інформаційної інфраструктури іноземними компаніями.

У 80-і роки XX-століття основний фокус інноваційної політики уряду було направлено на зближення науки та реального сектору економіки шляхом створення центрів трансферу власних перспективних технологій, технополісів та технологічних кластерів.

Держава підтримує створення центрів трансферу технологій в університетах, які мають право ліцензувати бізнес на використання наукових університетських розробок та створювати власні підприємства для комерціалізації своїх наукових досягнень.

В Південній Кореї склалась система державно-приватного партнерства, в якій при безумовному врахуванні інтересів всіх сторін, держава є єдиним учасником, рішення якого є обов'язковими для всіх інших.

Одним з перспективних шляхів забезпечення національної безпеки, розвитку науки та науково-технічної сфери держави є створення фондів, агентств розвитку технологій та підтримки інновацій.

Наприклад, завдання щодо забезпечення Міністерства оборони США новітніми передовими технологічними рішеннями покладено на агентство передових оборонних дослідницьких проектів (Defense Advanced Research Projects Agency – DARPA). Основне завдання DARPA полягає в аналізі й фінансуванні ідей фундаментального й прикладного характеру, а також у пошуку напрямків їх практичного впровадження для прискореної реалізації в існуючих і перспективних зразках озброєння й військової техніки.

Унікальність цього агентства полягає в тому, що воно реалізує тільки ті проекти, які здатні забезпечити досягнення революційного характеру в області оборони, але, як правило, що мають дуже високий ризик. Фахівці DARPA підтримують фундаментальні й прикладні дослідження

при тому, що заздалегідь існує великий ступень ризику, обумовлений невизначеністю в практичній реалізованості завдань або в досяжності необхідної ефективності.

DARPA фінансує як фундаментальні дослідження, так і створення повномасштабних дослідних зразків та систем. Цьому агентству дозволяється працювати на національні потреби без чітко встановлених і ясно сформульованих вимог.

У Франції існує Генеральна дирекція з озброєння (DGA) – агенство в структурі Міністерства оборони Франції, яке займається забезпеченням Збройних сил озброєнням та військовою технікою. В структуру DGA входять, крім Інспекцій з озброєнь, атомних справ та фінансового управління, Наукова рада (CS) та Комісія з наукових досліджень й інновацій в науці (MRIS).

В Індії створено Організацію оборонних досліджень та розробок (Defence Research and Development Organization – DRDO) – орган державної влади, що відповідає за розвиток технологій у військових цілях і знаходиться у підпорядкуванні Міністерства оборони Індії. Завданням DRDO є сприяння процвітанню Індії шляхом розвитку науки і техніки світового рівня, створення основ самозабезпечення в галузі критичних воєнних технологій та забезпечення рішучої переваги в технічному оснащенні національних Збройних сил.

В Південній Кореї у серпні 1970 року створено Корейське Агенство з оборонних розробок (Agency for Defense Development – ADD) для планування і проведення дослідно-конструкторських робіт в галузі оборонних технологій, випробувань та оцінок найбільш перспективних систем озброєння, впровадження передових технологій у оборонну промисловість країни.

В РФ 12 жовтня 2012 року був створений Фонд перспективних досліджень (ФПД) — аналог DARPA. ФПД визначає основні напрями пошуків в галузі проривних досліджень і розробок з метою розвитку виробництва високотехнологічної продукції військового, спеціального та подвійного призначення. Також ФПД забезпечує доведення ідей та рішень до рівня проектів, щодо яких буде отримано теоретичне та (або) експериментальне обґрунтування можливості та доцільності практичного застосування (впровадження) отриманих при їх реалізації результатів інтелектуальної діяльності в інтересах оборони й безпеки держави, в тому числі в інтересах модернізації збройних сил РФ, створення інноваційних технологій і виробництва високотехнологічної продукції військового, спеціального та подвійного призначення. ФПД здійснює фінансування зазначених заходів та проектів.

У виконавчій гілці влади в Україні з метою підтримки інновацій в галузі оборонного виробництва, для виконання завдань щодо замовлення та супроводження проривних високоризикових досліджень і розробок в інтересах оборони й безпеки держави, а також створення технологій і продукції подвійного призначення, доцільно створити **Державний фонд розвитку базових і критичних технологій та підтримки інновацій в ОПК** (далі Фонд).

*Довідково: створення Фонду передбачено пунктом 44 Воєнної доктрини України, затвердженої рішенням Ради національної безпеки і оборони України від 02 серпня*

*2015 р., уведеним у дію Указом Президента України від 24 серпня 2015 р. № 555 та Державною програмою реформування та розвитку оборонно-промислового комплексу на період до 2021 року.*

На наш погляд, основною метою створення Фонду повинно бути розроблення базових та критичних технологій, які спрямовані на **забезпечення національної безпеки й оборони** та економічного розвитку держави.

**Основними завданнями** та функціями Фонду доцільно визначити такі:

розробка стратегічних планів розвитку **критичних (ключових) технологій** воєнного та подвійного призначення (п'ятого і шостого технологічних укладів);

організація імплементації цих стратегічних планів в конкретні проекти та здійснення їх фінансування тощо.

**Організаційно-правовою формою** Фонду може бути державна установа, яка є головним розпорядником бюджетних коштів.

Фонд повинен мати міжвідомчий статус для уникнення необхідності створення подібних фондів у кожній із структур Сектору безпеки та оборони України.

У своїй діяльності Фонд має взаємодіяти з установами Національної академії наук (НАН) України, Міністерства освіти і науки (МОН) України, іншими зацікавленими міністерствами і відомствами та науковими установами недержавної форми. Також Фонд повинен тісно співпрацювати з Національним фондом досліджень України, що утворений постановою КМ України від 4 липня 2018 р. № 528. Для ефективного функціонування Фонду доцільно створити міжвідомчу експертну групу та Наглядову Раду.

Крім іншого, складний стан науково-технологічного потенціалу України характеризується ще й кадровою кризою. Міжвідомчий статус Фонду буде сприяти комплексному вирішенню кадрових проблем як в найближчій перспективі, так і дасть змогу передбачити потребу у відповідних фахівцях для розвитку проривних технологій та впровадження результатів досліджень. Фонд має брати участь у заходах, що сприяють формуванню та розміщенню Державного замовлення на підготовку спеціалістів закладами освіти з врахуванням результатів моніторингу потреб оборонної промисловості у фахівцях робітничих професій, конструкторах, адміністраторах, технологах, інженерах, випробувачах та потреб дослідних установ у дослідницьких, інженерно-технічних кадрах тощо.

Діяльність Фонду повинна будуватися на принципах:

– гнучкості та швидкості виявлення (або зміни) пріоритетів у напрямках досліджень, жорсткої конкуренції на рівні ідей, концепцій або підходів, орієнтованих на довгострокову перспективу;

– концентрації ресурсів на високотехнологічних напрямках, що потенційно здатні забезпечити прорив у розвитку озброєння (навіть при наявності великого ступеня ризику, обумовленого невизначеністю в практичній реалізованості завдань або в досяжності необхідної ефективності).

Силові структури Сектору безпеки і оборони України – замовники досліджень щодо розвитку базових і критичних технологій у сфері створення ОВТ повинні здійснювати *обов'язкове погодження з Міністерством оборони України* такого замовлення (із урахуванням повноважень Міноборони, визначених Законами України “Про оборону України” та “Про державне оборонне замовлення”).

Необхідно передбачити створення у рамках Фонду *банку даних (реєстру) базових та критичних технологій* для уникнення повторного фінансування розроблення аналогічних проектів.

Дуже важливо, щоб бюджет Фонду був прописаний окремим рядком у Державному бюджеті України, мав обсяг бюджетного фінансування, що відповідає завданням держави із забезпечення належної обороноздатності та безпеки країни як у короткостроковій, так і в довгостроковій перспективах.

Крім коштів державного бюджету, наповнення Фонду також може здійснюватися за рахунок організаційних й фінансових механізмів залучення приватного капіталу до створення та супроводження інновацій у відповідності до Закону України “Про державно-приватне партнерство” із змінами.

Для гарантованого наповнення Фонду також доцільно розглянути питання введення нового податку, який виконував би таку ж роль, як свого часу інноваційний збір при функціонуванні інноваційного фонду України, при умові, що цей податок будуть сплачувати тільки підприємства ОПК та оборонні приватні підприємства.

Крім того, наповнення Фонду повинно передбачати залучення встановленим порядком коштів від продажу озброєнь та роялті держави від використання об'єктів права інтелектуальної власності, створених за бюджетні кошти.

Таким чином, створення Фонду має передбачати розроблення відповідної законодавчої бази, яка б визначала правовий статус Фонду, його підпорядкованість, відповідальність та встановлювала механізми:

- координації дій центральних органів виконавчої влади за даним напрямом роботи;
- підтримки досліджень і розробок саме на найскладніших і вразливих етапах інноваційного циклу – на етапах переходу від наукових розробок, втілених, як правило, в експериментальних одиничних зразках, до повноцінної технології (супровід проектів на всіх етапах розвитку: від завершення прикладних НДР, етапів ДКР і технологічних робіт, виробничих і державних випробувань до етапу прийняття на озброєння і/або промислової реалізації в цивільному секторі);
- передачі майнових прав на об'єкти інтелектуальної власності;
- взаємодії замовників, споживачів, науково-дослідних установ НАН України та науково-дослідних установ й університетів МОН України, зацікавлених міністерств і відомств, підприємств ОПК усіх форм власності та потенційних інвесторів;
- фінансування та стимулювання досліджень;
- комерціалізації й промислової реалізації результатів досліджень в існуючих і перспективних зразках (комплексах, системах) озброєння та військової техніки;

– державно-приватного партнерства.

Пропозиції щодо шляхів забезпечення пріоритетної державної підтримки розвитку науково-технологічної сфери певний час активно обговорюються в державі. Необхідно відзначити ініціативи ДК “Укроборонпром” та Громадської спілки “Ліга оборонних підприємств України” щодо створення структури зі статусом центрального органу виконавчої влади, на який буде покладено завдання розвитку проривних технологій не тільки в галузі оборони, а і в таких галузях, що впливають на національну безпеку України, як перспективні джерела енергії, технології безпеки функціонування інфраструктури та технології безпеки довкілля.

Отже, у підсумку зазначимо, що сьогодні питання про реалізацію критичних технологій і науково-технологічного потенціалу України не має простої й однозначної відповіді. Так, у деяких галузях (авіакосмічній, кораблебудування) для розвитку високих технологій в Україні є непогані перспективи. Проте, у цілому положення складне. На наш погляд, існує нагальна потреба у перегляді переліку критичних технологій у сфері виробництва озброєння та військової техніки, що був затверджений розпорядженням Кабінету Міністрів України від 30 серпня 2017 р. № 600-р. Необхідно оцінити їх стан, актуальність, але найголовніше – забезпечити швидке й ефективне їх впровадження в промислове виробництво з максимальним комерційним ефектом. “Впровадження” і “реалізація” повинні стати одними з ключових факторів при аналізі критичних технологій.

## Висновки і пропозиції.

1. В Україні існує гостра проблема збереження та розвитку критичних (ключових) технологій, яка потребує негайного вирішення, системних комплексних кроків з боку держави. Розвиток науково-технологічної сфери є критично важливим як для розвитку національної економіки, так і для підвищення обороноздатності держави.

Рівень тактико-технічних характеристик практично всіх типів сучасних ОВТ у рамках фізичних ефектів (принципів), технічних рішень та технологій, на основі яких вони створені, досяг своєї межі. Тому подальший розвиток новітніх озброєнь можливий лише шляхом впровадження проривних науково-технологічних досягнень, критичних (ключових) технологій, створення на їх основі мультиплікаторних зразків, комплексів, систем ОВТ.

2. Пріоритетний розвиток критичних технологій є однією з основних умов для модернізації і випереджувального розвитку оборонно-промислового комплексу, нарощування його виробничих потужностей для задоволення потреб Збройних Сил та інших утворених відповідно до законів України військових формувань та правоохоронних органів, а також виробництва конкурентоспроможних на світовому ринку озброєнь і військової техніки.

Шляхи розв'язання проблеми полягають у розробці або корегуванні нормативно-правових актів щодо збереження та розвитку критичних (ключових) технологій, створенні державної системи управління та

інфраструктури критичних (ключових) технологій, механізмів їх відбору (система пріоритетів) та ресурсної державної підтримки, створенні економічних умов, які б зупинили еміграцію за кордон талановитих фахівців.

3. Розвиток науки та науково-технічної сфери в інтересах оборони й безпеки держави потребує створення структури управління цим процесом. Такою структурою може бути центральний орган виконавчої влади з міжвідомчим статусом або державна установа, яка є головним розпорядником бюджетних коштів і має міжвідомчий статус. Такий крок сприятиме налагодженню ефективної взаємодії науки, освіти та виробничої галузі для розвитку інноваційної діяльності.

Забезпечення швидкого й ефективного впровадження критичних технологій в промислове виробництво з максимальним комерційним ефектом повинно стати одним з ключових завдань такого органу виконавчої влади або державної установи.

### СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Norman Crolee Dalkey, Olaf Helmer-Hirschberg. An Experimental Application of the Delphi Method to the Use of Experts // RAND [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.rand.org/pubs/research\\_memoranda/RM727z1.html](http://www.rand.org/pubs/research_memoranda/RM727z1.html).
2. Online Foresight Guide // European Commission's Joint Research Centre [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://forlearn.jrc.ec.europa.eu/guide/4\\_methodology/methods.htm](http://forlearn.jrc.ec.europa.eu/guide/4_methodology/methods.htm).
3. Корчак В. Американская программа “Критические военные технологии” характеристика и анализ содержания/ Е. Тужиков, Л. Бочаров [ipraes@online.stek.net](mailto:ipraes@online.stek.net)
4. Малинецкий Г.Г. Перспективный метод критических технологий / Г.Г. Малинецкий, Н.С. Тимофеев // Препринты ИПИМ им. М.Келдыша. – 2014. – № 81. – С. 14.
5. Постанова Кабінету Міністрів України від 26.06.1993 № 486 “Питання Державної служби з питань спеціальної інформації та критичних технологій” [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://search.ligazakon.ua/l\\_doc2.nsf/link1/KMP93486.html](http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/KMP93486.html).
6. Постанова Кабінету Міністрів України від 16.05.1994 № 310 “Про розвиток і захист критичних технологій” [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/310-94-p>.
7. Постанова Кабінету Міністрів України від 27.11.1995 № 945 “Про державну підтримку міжнародного співробітництва України у сфері високих і критичних технологій” [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/945-95-p>.
8. Постанова Кабінету Міністрів України від 19.02.1996 № 216 “Про державну підтримку міжнародного співробітництва у сфері високих і критичних технологій” [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/216-96-p>.
9. Горбулін В. П. Формування та реалізація державної політики у галузі наукової та науково-технічної діяльності в забезпеченні національної безпеки і оборони / В.П. Горбулін, В.В. Зубарев, П.П. Скурський // Стратегічна панорама. – 2008. – № 2. – С. 75–84.
10. Величко О.Ф. Критичні технології як національний пріоритет у забезпеченні обороноздатності держави / О.Ф. Величко, О.І. Затинайко, П.П. Скурський // Наука і оборона. – 2011. – № 4. – С. 23–30.
11. Писаренко Т.В., Кваша Т.К. Досвід проведення стратегічних маркетингових досліджень з використанням методології форсайту в Україні // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013 – 1/10 (61) – С. 105-109.
12. Дихановський В. Критичні технології: сутність поняття та підходи до формування їх переліків / В. Дихановський, Д. Заклевський, О. Юрченко // Наука і оборона. – 2013. – № 4. – С. 42–45.
13. Дихановський В.М. Методологія розвитку ключових технологій [Електронний ресурс] / В.М. Дихановський // Шляхи розвитку української науки. – Київ. – 2018. – Вип. 9. – С. 96–112.
14. Рибінцев В.О., Клопов І.О. Форсайт як технологія реалізації стратегії розвитку економіки // Бізнес та інтелектуальний капітал. Інтелект ХХІ. – 2017. – № 3. – С. 87 – 94.
15. Шлемко В.Т. Економічна безпека України: сутність і напрямки забезпечення: монографія / В.Т. Шлемко, І.Ф. Бінько. – К. : НІСД, 1997. – С. 144. – (Сер. Нац. Безпека ; Вип. 2). – ISBN 966-554-002-5.
16. Маліцький Б.А. Обґрунтування системи науково-технологічних та інноваційних пріоритетів на основі “форсайтних” досліджень / Б.А. Маліцький, О.С. Попович. – К. : Фенікс. – 2008. – С. 86.
17. Форсайт в Україні [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.uintai.kiev.ua/foresight/ua/index.php>.
18. Альтшуллер Г.С. О законах развития технических систем. – Баку, 20.01.1977 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.altshuller.ru/triz/zrts1.asp>.
19. Онопрієнко М.В. Уточнення змісту поняття “технологія” / М.В. Онопрієнко // Збірник матеріалів Міжнародного симпозиуму “Інноваційна політика та законодавство в Європейському Союзі та Україні: формування, досвід, напрямки наближення”. – Київ : Фенікс, 2011. – С. 228–230.
20. Кристенсен Клейтон М. Дилемма инноватора / Клейтон М. Кристенсен ; Пер. с англ. – М. : Альпина Бизнес Букс, 2004. – С. 239.

Стаття надійшла до редколегії 26.02.2019 р.

**Рецензент М.І. Луханін**, д-р техн. наук, професор  
(Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)  
<https://orcid.org/0000-0002-1919-8526>

**Рецензент В. В. Зубарев**, д-р техн. наук, професор  
(Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України)  
<https://orcid.org/0000-0002-4998-726X>

УДК 623.438  
DOI: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.1\(21\).22-31](https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.1(21).22-31)

**S.P. BISYK,**  
*Philosophy Doctor, Senior Research Fellow*  
**I.B. CHEPKOV,** *Doctor of Science, Professor*  
**M.I. VASKIVSKYY,** *Doctor of Science, Professor*  
**L.S. DAVYDOVSKIY,** *Philosophy Doctor,*  
*(Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine)*  
**O.A. SLYVINSKIY,** *Philosophy Doctor, Associate Professor*  
*(Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv)*  
**O.M. ARISTARKHOV,** *Master of Science*  
*(Ivan Chernyakhovsky National Defense University of Ukraine, Kyiv)*

# Methods for modelling Air blast on structures in LS-DYNA. Comparison and analysis

*Представленні результати моделювання дії вибуху на металеву пластину з використанням різних розрахункових методів: LOAD\_BLAST; LOAD\_BLAST\_ENHANCED; Arbitrary Lagrangian Eulerian; Particle Blast Method; Smooth Particle Hydrodynamics, що реалізовані в програмі LS-DYNA. Оцінена адекватність та точність цих методів в залежності від коефіцієнту відстані до вибухової речовини. Наведенні переваги й недоліки кожного методу та рекомендації по їх застосуванню за результатами цього моделювання та досвіду авторів.*  
**Ключові слова:** вибух, протимінна стійкість, моделювання, LS-DYNA.

*Представлены результаты моделирования действия взрыва на металлическую конструкцию с использованием разных расчетных методов: LOAD\_BLAST; LOAD\_BLAST\_ENHANCED; Arbitrary Lagrangian Eulerian; Particle Blast Method; Smooth Particle Hydrodynamics, которые реализованы в программе LS-DYNA. Оценена адекватность и точность этих методов в зависимости от коэффициента расстояния к взрывчатому веществу. Представлены преимущества и недостатки каждого метода и рекомендации по их использованию порезультатах этого моделирования и опыта авторов работы.*  
**Ключевые слова:** взрыв, противоминная стойкость, моделирование, LS-DYNA.

**Introduction**  
The results of the combat losses analysis in armed conflicts over the past decades have shown that a large number of damages to armored combat vehicles (ACV) and their crews are caused by mines and improvised explosive devices[1,2]. Therefore, a topical solution to the problem of determining the effectiveness of protective structures during explosive loading is to improve of the anti-mine protection of ACV. Nowadays, numerical methods are used for solving physic problems on high-speed processes . This is quite effective tool for modeling processes occurring in conditions of explosive load of the protective structure. Modern software with integrated numerical methods allows us to estimate the influence of design parameters and physical and mechanical characteristics of the material and its elements on the operation of the structure as a whole during impulse influence. Numerical modeling can't replace traditional experimental research methods, but can significantly reduce their number and make the whole process more efficient and improve the anti-mine protection of ACV.

Currently, one of the most popular programs that allows to model the impact of explosion on protective structures is LS-DYNA [3]. A lot of works are devoted to research of the explosive on constructions, the main are there are [4-33]. Usually researchers choose one of the methods of numerical modeling that is implemented in this software package without substantiation of their choice. Each of these methods has errors for specific modeling conditions, so we must compare its accuracy and adequacy for determining the explosive loads and deflections of armored hull of ACV.

## Preconditions and means for resolving the problem

### Theoretical Model

The main criterion for assessing the impact of explosion on protective structures is the coefficient of distance Z (Table 1) to the explosive charge, which is determined in such a manner [34]:

$$Z = \frac{R}{\sqrt[3]{W}} \tag{1}$$

where: Z – coefficient of distance to the explosive charge; R – distance from center of charge; W– charge weight in TNT.

Table 1  
Conditional classification of the explosion depending on the value of Z

Classification	Z, kg/m <sup>1/3</sup>
Far field	>4 - ≈40
Average field	0,4-4
Near field	≈0,053-0,4
Contact explosion	≈0,053

The application of the coefficient of distance Z to the explosive charge avoids the attachment to the actual mass of charge, the distance to it, and conducts an assessment taking into account similarity laws.  
The following calculation methods are implemented in the form of commands in LS-DYNA [3]:

Table 2

Possibility of application of calculation methods depending on [38].						
Classification	Z, kg/m <sup>1/3</sup>	LOAD_BLAST	LOAD_BLAST_ENHANCED	ALE	PBM	SPH
Far field	>4 - ≈40	Yes	Yes	Yes*	No	No
Average field	0,4-4	Yes	Yes	Yes/Yes*	possibly	No
Near field	0,053-0,4	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes?
Contact explosion	≈0,053	No	No	Yes	Yes	Yes

\*Note: in conjunction with the LOAD\_BLAST\_ENHANCED method

LOAD\_BLAST;  
LOAD\_BLAST\_ENHANCED;  
Arbitrary LagrangianEulerian (ALE);  
Particle Blast Method (PBM);  
Smooth Particle Hydrodynamics (SPH).  
Application of these calculation methods is possible depending on the value of Z (Table 2).  
Correspondence of theoretical results with experimental data allows to control the legality of the main references laid down in the calculation scheme, as well as the certainty of the resulting numerical results. As experimental data, these works are selected[36,37].

The general view of the experimental setup for the explosive load of the armor plate is shown in Fig. 1.[36, 37]. When performing research, the armor plate was clamped between two plates (Fig. 1).The explosive charge of trinitrotoluene (TNT) in the form of a sphere was placed at different distances (R) from the target plate. The value of the charge weight also varied. The scheme of conducting an experiment is shown in Fig. 1b.

Cowper-Symonds model (2) forthematerialofplatewasused inthecourseofnumericalmodeling [3].

$$\sigma_T = \left[ 1 + \left( \frac{\dot{\epsilon}}{C} \right)^{1/p} \right] (\sigma_0 + \beta E_p \epsilon_{eff}^p),$$
$$E_p = E_{ig} E / (E - E_{ig}),$$
$$\epsilon_{eff}^p = \int_0^t \left( \frac{2}{3} \dot{\epsilon}_{ij}^p \right)^{1/2} dt,$$

(2)

where: p and C – parameters of strain rate;  $\dot{\epsilon}$  – equivalent strain rate;  $\sigma_0, \sigma_T$  – Static and dynamic yield stress;  $E$  – Young’s modulus;  $E_{ig}$  – hardening modulus.

The equation of the state of explosive detonation products[3]:

$$p = A(1 - \frac{\omega}{R_1 V}) \exp \{-R_1 V\} + B(1 - \frac{\omega}{R_2 V}) \exp \{-R_2 V\} + \frac{\omega}{V} \bar{E}, \quad (3)$$

where:  $\dot{V} = \frac{\dot{\rho}_0}{\rho} = \frac{v}{v_0}$  – relative specific volume; A, B, C,  $R_p$ ,  $R^2$ ,  $\omega$  – empirical constants;  $\bar{E}$  – internal energy.

The equation of state of air [3]:

$$p = e \cdot (\gamma - 1) \rho / \rho_0$$

(4)

where:  $\gamma = 1,4$  – indicator of air adiabatic.

The mechanical characteristics of the armor plate are summarized in Table 3. Characteristics for the equation of the state of explosive detonation products are given in Table 4.

Table 3

Characteristics of the plate material [36, 37]

Characteristic	Value
Young’s modulus, GPa	210
Poisson’s ratio	0,28
Static yield stress, MPa	950
Dynamic yield stress, MPa	1250
Relative elongation, %	9
Density, kg/m3	7838

Table4

Characteristics of the equation of state of detonation products [39]

explosive index	Chapman-Jouget Parameters, *MAT_HIGH_EXPLOSIVE_BURN					The coefficients of the state equation of detonation products in the form Jones-Wilkins-Lee, *EOS_JWL					
	$\rho_0$	P	D	$E_0$	G	A	B	C	$R_1$	$R_2$	$\omega$
	kg/m <sup>3</sup>	GPa	M/c	GJ/m <sup>3</sup>		GPa	GPa	m <sup>3</sup> /kg			
TNT	1630	21,0	6930	7,00	2,727	371,2	3,231	1,045	4,15	0,95	0,30

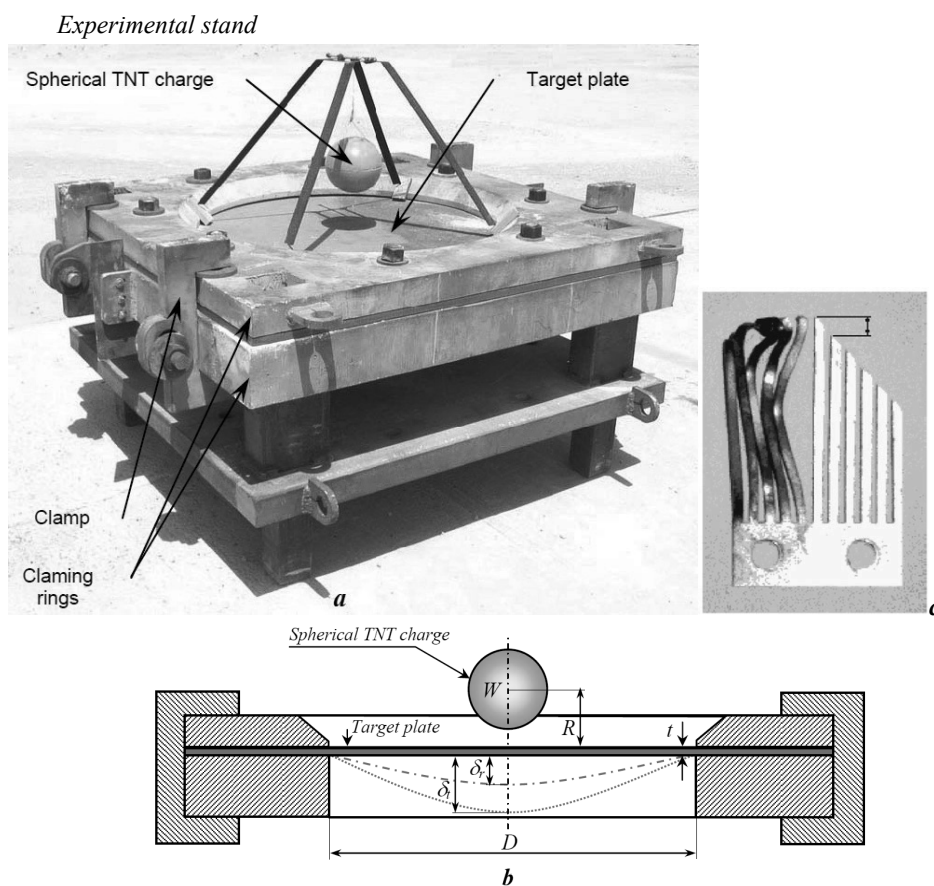


Fig. 1. The general view of the experimental setup (a), the scheme of conducting an experiment (b) and Comb-like device for dynamic deflection measurement [36,37]:  $R$  – distance from center of charge,  $t$  – plate thickness;  $D$  – plate diameter;  $\delta$  – maximal mid-point transient deflection;  $\delta_r$  – residual mid-point deflection.

### Numerical modeling

The plate on which the explosion acts, is modeled as three-dimensional, four-node, shell finite elements (Shell) and three-dimensional, eight-node, solid elements (Solid) in all variants. Accordingly, in each calculation scheme, the weight of the explosive varied and the distance to it varied.

Finite-element models for other methods for modelling air blast are presented in Fig. 2. And results of numerical simulations are presented in Fig. 3-4 and table 5.

### Result and Discussion.

The obtained simulation results using the considered calculation methods showed high accuracy in comparison with the experimental data, which were selected as reference ones. An additional point is that obtained results correlate with results of other works. [40-42].

The use of Solid or Shell elements in the numerical model has approximately the same level of precision while solving tasks. However, the amount of data needed to store the solution of the same task for Solid elements will be on average three times more than Shell. It is clear that the time of solving the problem with the use of Solid elements will be significantly higher compared with the use of shell elements. Such conclusions aren't new and completely

logically proceed from the mathematical content of both elements. For the majority of tasks regarding the assessment of the impact of explosions on protective structures, it is quite sufficient to use Shell elements except for the presence of significant plastic deformations and the destruction of structural elements. In this case, the use of Solid elements will be expedient.

Application of the LOAD\_BLAST and LOAD\_BLAST\_ENHANCED method has significant advantages over other methods because of their ease of use, relative simplicity of the preparation of the finite element model, the smallest volumes of data compared with other methods, the smallest hardware requirements for computers. The disadvantages of such calculation methods are the impossibility of taking into account "shading" by one design of another, the absence of reflection and overlay of shock waves, which leads to an increase of measure of inaccuracy in the evaluation of the protective properties of complex structures. By the way, there is a fairly small choice of charge explosive form. The effect of a spherical charge in the air or on the surface of the soil is integrated in this calculation method. This requires a recalculation of the charge value of the charge, taking into account the soil and coefficients taking into account the shape of the charge. LOAD\_BLAST\_ENHANCED further allows us to estimate the pressure acting



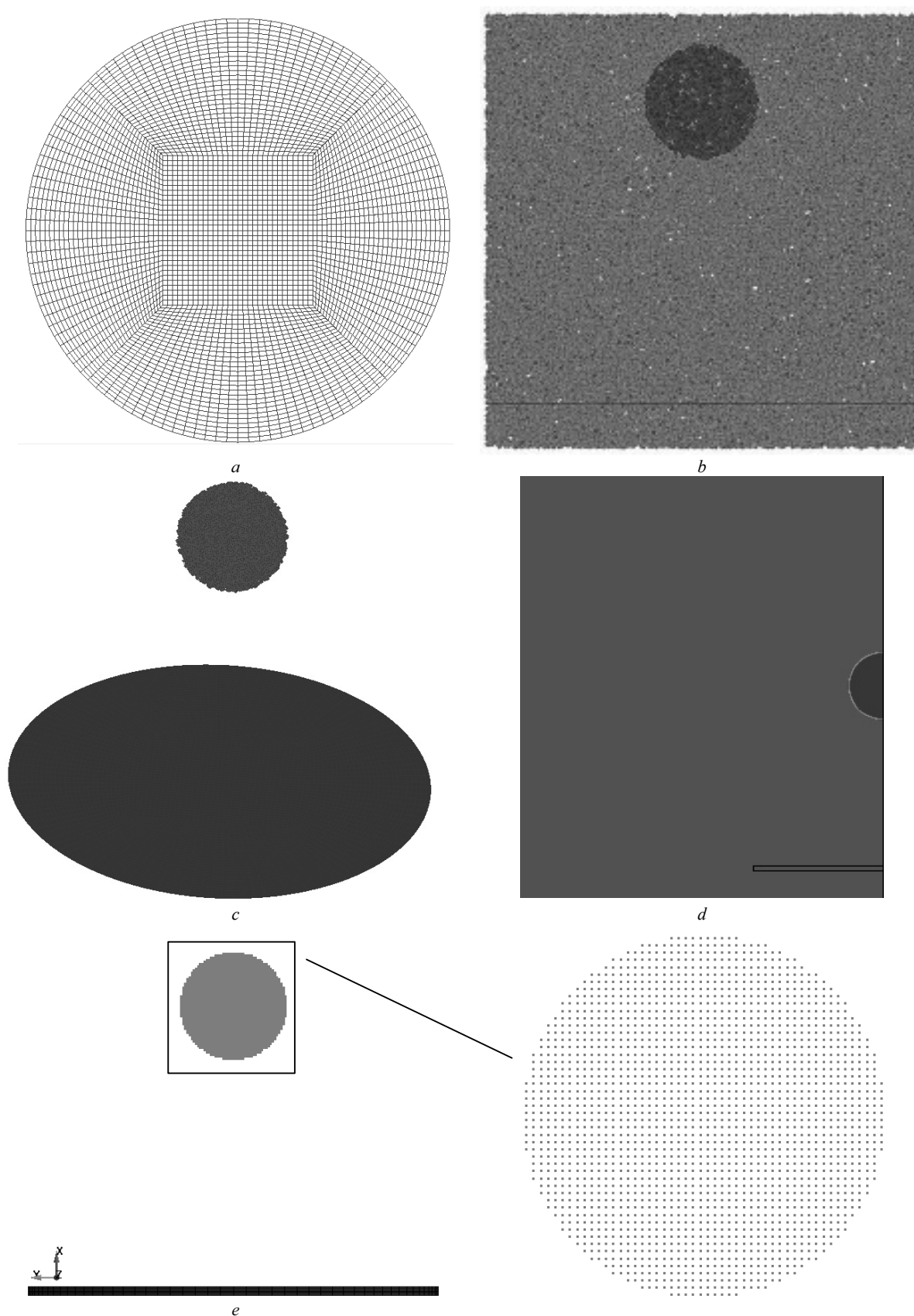


Fig. 2. Finite-element models for other methods for modelling air blast: *a* - LOAD\_BLAST and LOAD\_BLAST\_ENHANCED; *b* - PBM (with air); *c* - PBM (not air); *d* - ALE 2D; *e* - SPH

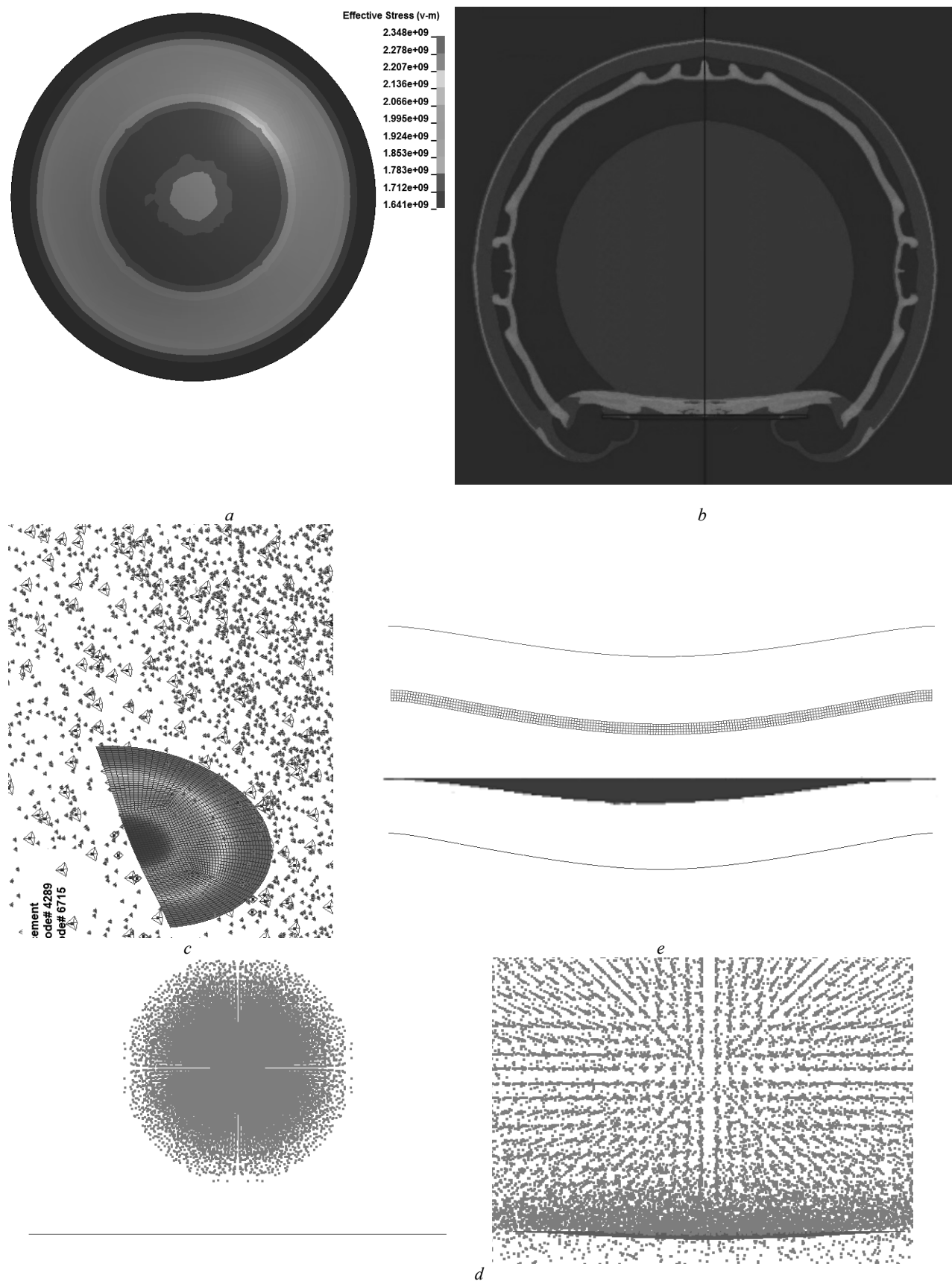


Fig. 3. Different methods of numerical modeling of explosive loading of a plate (W= 15 kg, R=0.4 m) : *a* – LOAD\_BLAST and LOAD\_BLAST\_ENHANCED; *b* – ALE 2D; *c* – PBM; *d*– SPH; *e* –maximum deflections of the plate with the application of the appropriate method

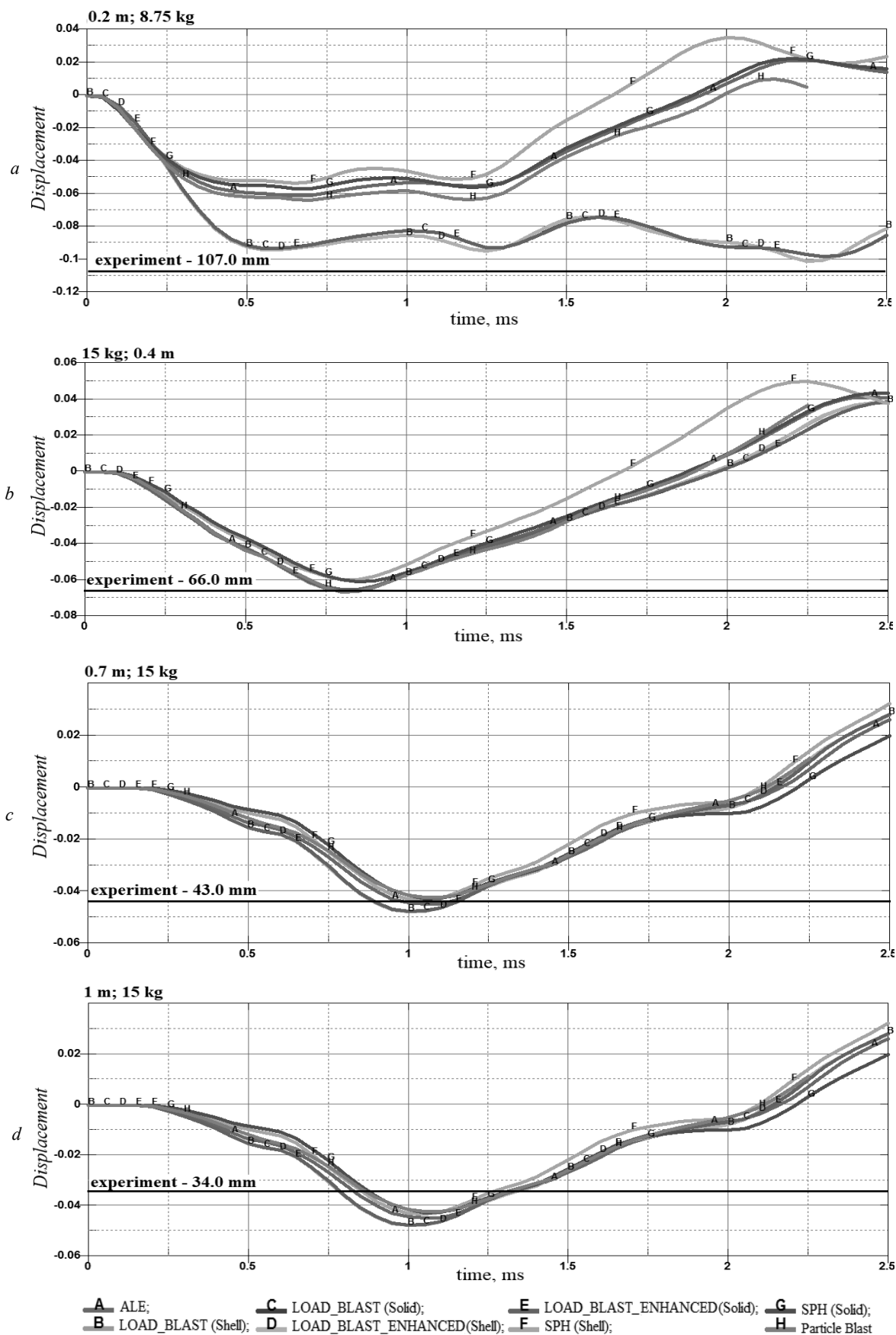


Fig. 4. Graphs of the displacement of the central node of a plate during the simulation of the explosion of charge

Table 5: Results of numerical modeling of the impact of explosion on a plate using various calculation methods

Calculation method	W, kg	R, m	$\delta_r$ , mm experiment	$\delta_r$ , mm calculation	$\Delta$ , %	Time of calculation, s	Data volume, MB	Dimensions of a finite element, mm	Number of finite elements, units.	Z, kg/m <sup>1/3</sup>
LOAD_BLAST (Shell)	8,75	0,13	165,0	109,7	33,5	81	41,8	12x12	4380	0,063
		0,2	107,0	100,9	5,7	78				0,097
	15	0,4	66,0	66,2	0,3	79				0,162
		0,7	43,0	47,7	10,9	80				0,284
		1	34	34,6	1,8	83				0,405
LOAD_BLAST (Solid)	8,75	0,13	165,0	105,2	36,2	377	128	14x14	18150	0,063
		0,2	107,0	98,1	8,3	374				0,097
	15	0,4	66,0	66	0,0	371				0,162
		0,7	43,0	47,6	10,7	367				0,284
		1	34	34,6	1,8	371				0,405
LOAD_BLAST (ENHANCED) (Shell)	8,75	0,13	165,0	109,8	33,5	98	55,8	12x12	4380	0,063
		0,2	107,0	100,9	5,7	96				0,097
	15	0,4	66,0	66,3	0,5	88				0,162
		0,7	43,0	47,7	10,9	86				0,284
		1	34	34,6	1,8	85				0,405
LOAD_BLAST (ENHANCED) (Solid)	8,75	0,13	165,0	105,2	36,2	376	151	14x14	18150	0,063
		0,2	107,0	98,1	8,3	374				0,097
	15	0,4	66,0	66	0,0	366				0,162
		0,7	43,0	47,6	10,7	361				0,284
		1	34	34,5	1,5	367				0,405
SPH (Shell)	8,75	0,13	165,0	84,1	49,0	608	498	12x12	65752 (SPH)	0,063
		0,2	107,0	54,5	49,1	596				0,097
	15	0,4	66,0	59,6	9,7	585				0,162
		0,7	43,0	43,2	0,5	505			4380 (Shell)	0,284
		1	34	27,2	20,0	498				0,405
SPH (Solid)	8,75	0,13	165,0	97,8	40,7	2630	583	14x14	65752 (SPH)	0,063
		0,2	107,0	56,5	47,2	2421				0,097
	15	0,4	66,0	60,8	7,9	2305				0,162
		0,7	43,0	42,6	0,9	2032			18150(Solid)	0,284
		1	34	23,9	23,8	1918				0,405
ALE 2D (Solid)	8,75	0,13	165,0	70,8	57,1	37850	2100	5x5	196400	0,063
		0,2	107,0	61	43,0	37630				0,097
	15	0,4	66,0	65,1	1,4	21030				0,162
		0,7	43,0	44,8	4,2	8951				0,284
		1	34	32,1	5,6	9748				0,405
Particle Blast (with air ) (Shell)	8,75	0,13	165,0	100,9	38,8	136			4380 (Shell)	0,063
		0,2	107,0	63,8	40,4	133				0,097
	15	0,4	66,0	66,4	0,6	130			100 000 (PBM)	0,162
		0,7	43,0	42,2	1,9	122				0,284
		1	34	42,1	23,8	65				0,405

on the protective structure on its surface and the effect of the negative phase of the shock wave (this isn't counted in LOAD\_BLAST).

Using the SPH method allows us to take into account processes of reflection and overlaying of shock waves, but requires considerable hardware resources. In addition, this method is very sensitive to grid density, the number of SPH elements, and the correct choice of contact between the elements of the SPH and the elements of the Lagrange.

The ALE method requires a lot of hardware resources, requires the greatest amount of time in order to calculate the task and consumes the highest volume of data to note.

The Particle Blast method has the advantage because of the lack of a mesh, needs a relatively small amount of data to note, has a fairly high accuracy and high speed of problem solution. The application of this method is quite promising at the present time.

### Conclusion

The obtained results show that for the conditions of charge demolition under the bottom or chassis of the ACV, all the methods of modeling the impact of the explosion described in this article have high adequacy and accuracy. The use of each method is expedient in view of their disadvantages and advantages at the discretion of the researcher. Taking into account the authors' experience, it is expedient to carry out the research of the protective structure in the initial stages using the methods LOAD\_BLAST and LOAD\_BLAST\_ENHANCED. We should use one of the methods such as Arbitrary Lagrangian Eulerian, Corpuscular Particle Method, Smooth Particle Hydrodynamics in order to receive more detailed information about the protective structure.

### LITERATURE

- Summary of global armoured vehicle market report 2013 URL: <https://http://rfventures.co/wp-content/uploads/2018/01/iq2018.pdf>
- Давидовський Л.С., Бісик С.П. Визначення напрямів підвищення захищеності бойових броньованих машин на основі аналізу бойових уражень / ЦНДІ ОБТ ЗСУ / ЦНДІ ОБТ ЗС України. Вип. 1 (68). К.: ЦНДІ ОБТ ЗС України, 2018. С. 45–54.
- LS-DYNA keyword user's manual Version 970. Livermore: LSTC, 1998. 498 c
- NATO AEP-55. Procedures for evaluating the protection level of logistic and light armoured vehicles. Volume 2 for mine threat. North Atlantic Treaty Organization, Unclassified publication 2009. 54 c.
- Showichen A. Numerical analysis of vehicle bottom structures subjected to anti-tank mine explosions: PhD thesis. Adisak Showichen. Cranfield university, 2008. 328 c.
- Numerical analysis of a lightarmoured vehicular personnel carrier loaded with a mine or ied explosion on a human transported in it. URL: <https://dspace.lib.cranfield.ac.uk/bitstream/1826/1209/1/darina%20fiserova.pdf>.
- Shape Optimization of Panels Subject to Blast Loading Modeled with LS-DYNA. URL: <http://www.dynalook.com/international-conf-2010>.
- Бісик С.П. Аналіз пріоритетних напрямів вдосконалення протимінного захисту бойових броньованих машин // Зб. наук. праць ЦНДІ ОБТ ЗСУ. – Вип. 19(41). – К.: ЦНДІ ОБТ ЗСУ, 2011. – С. 77-81.
- Бісик С.П. Теоретична оцінка протимінної стійкості багатоцільового тактичного автомобіля «Козак-2»/ Бісик С.П., Чепков І.Б., Васильківський М.І., Давидовський Л.С., Корбач В.Г., Висоцький О.М., Захаревич Д.М. // Озброєння та військова техніка : шокв. наук.-техн. журн. / ЦНДІ ОБТ ЗСУ. 2016. №1 (9). С. 26-31.
- Бісик С.П., Давидовський Л.С. Дослідження протимінної стійкості бронетранспортера БТР-60 // Новітні технології в автомобілебудуванні, транспорті і при підготовці фахівців: тезидоп. на Міжнарод. наук.-практ. та наук.-метод. конф. / ХНАДУ. Харків, 2016. С.231-234.
- Analysis of IED sidebar explosion influence on hull of light fighting vehicle. URL: <file:///C:/Users/HP/Downloads/fulltext.pdf>.
- Landmine protection of armoured personnel carrier M113. URL: <http://www.dynalook.com/european-conf-2007/landmine-protection-of-armoured-ersonnel-carrier.pdf>.
- F. Tarlochan, Samer. F. Design of thin wall structures for energy absorption applications: design for crash injuries mitigation using magnesium alloy. International Journal of Research in Engineering and Technology. Tenaga. : 2013. p. 24-36.
- Бісик С. П. Числове моделювання вибухового навантаження модульних сотових конструкцій бойових броньованих машин / С.П. Бісик, В.А. Голуб, О.Ю. Ларін, О.Л. Чеченкова // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Машинознавство та САПР. –Х.: НТУ «ХПІ». – 2013-№ 23(996). – С. 27-35.
- Бісик С. П. Дослідження навантаження вибухом макетів днищ бойових машин / С.П.Бісик, К.Б. Круковський-Сіневич, І.Б.Чепков, Л.О. Волгін, В.А.Голуб, О.Ю. Ларін // Механіка та машинобудування // Науково-технічний журнал. – Харків: НТУ «ХПІ», 2012-№2. – С. 110-118.
- Бісик С. П. Оцінка впливу способу кріплення протимінного екрана на протимінну стійкість бойових броньованих машин / С.П. Бісик, І.Б.Чепков, В.А.Голуб, В.Г.Корбач // Системи озброєння і військова техніка. Щоквартальний науковий журнал. – Х.: ХУПС ім. Івана Кожедуба, 2013-№1(33). – С. 8-12.
- Чернозубенко О.В. Дослідження впливу уражаючих факторів підриву мінно-вибухових пристроїв на організм людини / О.В. Чернозубенко, О.М. Купріненко, С.П. Бісик // Системи озброєння і військова

- техніка. Щоквартальний науковий журнал. – Х.: ХУПС ім. Івана Кожедуба, 2014. – №2(38). – С. 39-44.
18. Бісик С.П. Критерії травмування організму людини при ударному та вибуховому навантаженнях / С.П. Бісик, Л.С. Давидовський, В.Р. Схабицький // Системи озброєння і військова техніка: науковий журнал. – Х.: ХУПС ім. Івана Кожедуба, 2015 – №1(41). – С. 153-159.
19. Бісик С.П. Оцінка протимінної стійкості легкої бойової колісної машини / С.П. Бісик, О.М. Купріненко, В.Г. Корбач // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Машинознавство та САПР. –Х.: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 31 (1140). – С. 11-20.
20. Бісик С.П. Аналіз механогенезу травмування екіпажу бойових броньованих машин при підриві на мінно-вибухових пристроях / С.П. Бісик, Л.С. Давидовський // Військово-технічний збірник. – №13/2015. – Львів: НАСВ, 2015. – С. 34-40.
21. Бісик С.П. Дослідження конструкції захисного протимінного екрана / Бісик С.П. // Військово-технічний збірник. – №12/2015. – Львів: АСВ, 2015. – С. 110-117.
22. Бісик С.П. Числове моделювання ударно-хвильового навантаження днища транспортного засобу / С.П. Бісик, І.Б. Чепков, В.А. Голуб, В.Г. Корбач // Механіка та машинобудування // Науково-технічний журнал. – Харків: НТУ «ХПІ», 2011. – №1. – С. 149-154.
23. Сливінський О.А. Структура та властивості зварних з'єднань броньових сталей закордонного виробництва / Сливінський О.А., Бісик С.П., Чернозубенко О.В. // Технологические системы. 2016. №3(76). С. 103-112
24. Бісик С.П. Методика дослідження ефективності енергопоглинаючого елемента / С.П. Бісик, Л.С. Давидовський, В.Г. Корбач // Технологические системы – 2016. – №4(77). – С. 103-112.
25. Давидовський Л.С. Дослідження енергопоглинаючого елемента протимінного сидіння бойової броньованої машини / Давидовський Л.С., Бісик С.П., Корбач В.Г. // Озброєння та військова техніка : щокв. наук.-техн. журн. / ЦНДІ ОВТ ЗСУ. 2017. №1 (13). С. 24-33.
26. Бісик С.П. Підхід до оцінки протимінної стійкості корпусів бойових броньованих машин з урахуванням зварних з'єднань // Наука і техніка Повітряних Сил ЗС України / ХНУПС ім. Кожедуба. Вип. 3(28). Х. : ХНУПС ім. Кожедуба, 2017. С. 121-127. – DOI: 10.30748/nitps.2017.28.15
27. Бісик С.П. Дослідження вибухового навантаження V-подібної моделі днища бойової машини/ С.П. Бісик, І.Б. Чепков, В.А. Голуб, О.Ю. Ларін // Зб. наук. праць ЦНДІ ОВТ ЗСУ. – Вип. 1 (22) – К.: ЦНДІ ОВТ, 2012. – С. 232-240.
28. Бісик С.П. Числове вирішення задачі ударно-хвильового навантаження пластини / С.П. Бісик, В.А. Голуб, В.Г. Корбач // Військово-технічний збірник / Академія Сухопутних військ. №2(5). – Львів: АСВ, 2011. – С. 3-6.
29. Грабовський, А. В. Забезпечення тактико-технічних характеристик військових гусеничних і колісних машин на етапі проектних досліджень / А. В. Грабовський, А. Ю. Васильєв, М. М. Ткачук, А. Ю. Танченко, О. В. Мартиненко, Д. В. Киричук, С. В. Борисенко, О. І. Касай // Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 18 (1190). – С. 22-29. – doi:10.20998/2413-4295.2016.18.04.
30. Набоков А. В. Математическое моделирование динамических процессов в корпусе легкобронированной машины при импульсном воздействии / А.В. Набоков, Н.А. Ткачук, А.Н. Малакей, А.В. Грабовский, А.Ю. Васильев, С.В. Куценко, А.Ю. Танченко, Е.С. Ананьин // Вісник НТУ «Харківський Політехнічний Інститут»: Серія: Машинознавство та САПР. Харків: НТУ «ХПІ», 2018. – № 7 (1283). С. 76-85.
31. Хлань А.В. Проектно-технологически-производственное обеспечение тактико-технических характеристик боевых бронированных машин: подходы, модели и методы / А.В. Хлань, А.Н. Малакей, Н.А. Ткачук, А.А. Зарубина, А.В. Грабовский, А.Ю. Танченко, А.Ю. Васильев, А.В. Литвиненко, В.В. Посохов, О.В. Кохановская, Набоков А.В. // Механіка та машинобудування // Науково-технічний журнал. – Харків: НТУ «ХПІ», 2017. – №1. С. 156-182.
32. Бондаренко, М. О. Розрахунково-експериментальна верифікація динамічної моделі макета корпусу бронетранспортера / М.О. Бондаренко, Є. В. Пелешко, А. Ю. Васильєв, А. В. Грабовський, Р. В. Граборов, Ю. В. Веретельник, В. В. Посохов // Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – №32 (1254). – С. 5-13. – doi:10.20998/2413-4295.2017.32.01.
33. Ткачук Н.А. Компьютерный программно-аппаратный комплекс для анализа и синтеза моделей элементов объектов бронетанковой техники / Н.А. Ткачук, В.Ф. Климов, А. В. Хлань, А.И. Шейко, А. Н. Малакей, В.И. Кохановский, А.В. Грабовский, А.Ю. Танченко, А.Ю. Васильев, М.А. Бондаренко, А.А. Зарубина, А. В. Набоков // Вісник НТУ «Харківський Політехнічний Інститут»: Серія: Машинознавство та САПР. Харків: НТУ «ХПІ», 2017 - №12 (1234). С. 96-109.
34. Development of a strategy for simulating blast-vehicle interactions. URL: <http://dodreports.com/ada535049>.
35. Взрывные явления. Оценка и последствия: В 2-х кн. Кн. 2. Пер. с англ./ Бейкер У., Кокс П., Уэстайн П. и др.; Под ред. Я.Б. Зельдовича, Б.Е. Гельфанда. М.: Мир, 1986. – 319 с.
36. Neuberger A., Peles S., Rittel D. Scaling the response of circular plates subjected to large and close-range spherical explosions. Part I: Air-blast loading,

- International Journal of Impact Engineering 34, 2007, pp. 859-873.
37. Neuberger A., Peles S., Rittel D. Springback of circular clamped armor steel plates subjected to spherical air-blast loading, International Journal of Impact Engineering 36, 2009, pp. 53–60.
38. Hilding D. Methods for modelling Air blast on structures in LS-DYNA // Nordic LS-DYNA Users' Conference, Gothenburg, Sweden, 2016.
39. Физика взрыва / Под ред. Л.П. Орленко. – Изд. 3-е, испр. – В 2 т. Т. 2. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 656 с.
40. Schwer L., Teng H., Souli M. LS-Dyna Air Blast Techniques: Comparios with Experiments for Close-in Charges // 10-th European LS-Dyna Conference, Wurzburg, Germany, 2015.
41. Teng H., Wang J. Particle Blast Method (PBM) for the Simulation of the Simulation of Blast Loading // 13-th International LS-Dyna Users Conference, Dearborn, USA, 2014.
42. Olovsson, L., Hanssen, A.G., Børvik, T., Langseth, M. A particle-based approach to close-range blast loading, European Journal of Mechanics / A Solids (2009), DOI: 10.1016/j.euromechsol.2009.06.003

Стаття надійшла до редколегії 19.02.2019 р.

**Рецензент С.В. Лапицький**, д-р техн. наук, професор  
(Центральний науково-дослідний інститут озброєння  
та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)  
<https://orcid.org/0000-0003-2645-0256>

УДК 623.546:531.554

DOI: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.1\(21\).32-34](https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.1(21).32-34)

**А.В. ГУРНОВИЧ**, доктор технічних наук,  
старший науковий співробітник,

**В.Г. ТРОФИМЕНКО**, науковий співробітник,  
(Центральний науково-дослідний інститут  
озброєння та військової техніки Збройних Сил  
України, м. Київ)

## Методичний підхід щодо вирішення оберненої задачі зовнішньої балістики з визначення функції опору повітря польоту снаряда без використання спеціалізованого обладнання

Розглядається підхід до вирішення задачі з визначення функції опору повітря польоту снаряда на основі результатів експериментальних стрільб без застосування спеціалізованого обладнання для замірів швидкості снаряда на траєкторії польоту. Зазначений підхід забезпечує формування індивідуальних драг-функцій для різних типів снарядів що, у свою чергу, дозволяє відмовитися від еталонних функцій та, як наслідок, підвищити точність розрахунків.

Ключові слова: функція опору повітря польоту снаряда, зниження траєкторії польоту снаряда, диференціювання рівняння.

Рассматривается подход к решению задачи по определению функции сопротивления воздуха полету снаряда на основе результатов экспериментальных стрельб без применения специализированного оборудования для замеров скорости снаряда на траектории полета. Указанный подход обеспечивает формирование индивидуальных драг-функций для разных типов снарядов что, в свою очередь, позволяет отказаться от эталонных функций и, как следствие, повысить точность расчетов.

Ключевые слова: функция сопротивления воздуха полету снаряда, снижение траектории полета снаряда, дифференцирование уравнения.

Вирішення оберненої задачі зовнішньої балістики відноситься до класу найбільш складних завдань. Її вирішення пов'язано із значними труднощами, що визначаються нелінійною задачею. В той же час існує багато теоретичних рішень [1], основаних на наближеннях, що відносяться в першу чергу до виду функції опору повітря. Нерідко, при вирішенні даних задач, пошук рішення виконується методом зближення. Використання такого роду зближень приводить до деяких, іноді значних, відмінностей результату від експериментальних даних. У зв'язку з цим, найбільш точним, при рішенні даної задачі, вважається ресурсномісткий метод багаторазового чисельного рішення прямої задачі зовнішньої балістики.

Експериментальні (зовнішньо-траєкторні) методи визначення функції опору повітря [2, 3, 4, 5, 6, 7] базуються на вимірюванні швидкості польоту снаряда, що вимірюється в декількох точках ділянки траєкторії. Основними недоліками існуючих методів є:

визначення середнього значення сили опору повітря на траєкторії польоту снаряда;

виникання великих похибок замірів при малих швидкостях снарядів (внаслідок незначного опору повітря) та неможливість збільшення бази вимірювання внаслідок різкого падіння траєкторії польоту;

необхідність виконання великого обсягу робіт з підготовки вимірювань та використання складного спеціалізованого обладнання.

Метою статті є формування експериментально-теоретичного підходу щодо визначення функції опору повітря польоту снаряда без використання спеціалізованого обладнання.

Альтернативний підхід рішення даної задачі ґрунтується на зворотному рішенні системи з чотирьох диференціальних рівнянь першого порядку, що описує рух снаряда у повітрі як рух твердого тіла [2]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dV}{dx} &= -C_x \times H(y) \times G(v) \\ \frac{d\Theta}{dx} &= -\frac{g}{V^2} \\ \frac{dH}{dx} &= \Theta \\ \frac{dt}{dx} &= \frac{1}{V} \\ v &= V \times \sqrt{1 + \Theta^2} \end{aligned} \right\}. \quad (1)$$

Перше рівняння системи (1) визначає швидкість снаряда на траєкторії польоту (при початкових умовах – початкова швидкість снаряда), друге рівняння визначає кут польоту снаряда на траєкторії (при початкових умовах – кут вильоту снаряда), третім рівнянням визначається висота траєкторії польоту (при початкових умовах – висота прицілу зі знаком мінус), четверте рівняння визначає час польоту снаряда.

Падіння швидкості снаряда на траєкторії відбувається під дією сили опору повітря, яка у свою чергу



визначається балістичним коефіцієнтом  $C_\sigma$  функцією густини повітря  $H(y)$  та функцією швидкості  $G(v)$ .

Функція густини повітря є відношення густини повітря при стрільбі ( $\Pi$ ) до густини повітря нормальних балістичних умов ( $\Pi_{ON}$ ):

$$H(y) = \frac{\Pi}{\Pi_{ON}}. \quad (2)$$

Нормальними балістичними умовами є: температура повітря  $-15^\circ\text{C}+273$  ( $T_{ON}$ ), тиск повітря  $-750$  мм рт.ст. ( $h_{ON}$ ), парціальний тиск водяного пару  $6,35$  мм рт.ст. ( $e_{ON}$ ), тобто відносна вологість  $50\%$ .

Загалом вираз для визначення густини повітря має вигляд:

$$\Pi = 13,6 \times \frac{h}{R \times T} \times \left(1 - \frac{3}{8} \times \frac{e}{h}\right), \quad (3)$$

де  $R$  – газова стала, яка для повітря складає  $29,27$ .

Функція швидкості  $G(v)$  має вигляд:

$$G(v) = \frac{\pi \times \Pi_{ON}}{8000} \times v \times c_x \left(\frac{v}{a}\right), \quad (4)$$

де  $c_x \left(\frac{v}{a}\right)$  – функція лобового опору повітря, що визначається експериментально та фактично являє собою еталонну криву опору повітря для снаряда певної (найбільш поширеної) форми в залежності від миттєвої швидкості польоту кулі.

Для визначення функції опору повітря необхідно вирішити обернену задачу зовнішньої балістики. Тобто, на основі зовнішньо-траєкторних вимірювань висоти траєкторії снаряду на певних відстанях визначити функцію лобового опору повітря польоту снаряда (драг-функцію).

Враховуючи те, що у військових умовах можливо визначити тільки кути кидання снаряду (введення поправки на дальність при стрільбі на певну дистанцію) пропонується така послідовність дій:

1. На всіх відстанях стрільби ( $x$ ) з дискретністю  $\Delta$  експериментально фіксується кут кидання снаряду  $\gamma(x)$ , де  $x=0, \Delta, \dots, X$ .

2. Визначається падіння траєкторії польоту снаряда як:

$$H(x) = -x \times \tan(\gamma(x)). \quad (5)$$

3. Виконується апроксимація функції залежності  $H(x)=f_1(x)$ . Найбільш універсальною функцією апроксимації є поліноміальна функція, тобто

$$H(x) = \sum_{i=0}^m a_i x^i, \quad (6)$$

де  $a_i$  – коефіцієнти поліноміальної функції залежності падіння траєкторії польоту снаряда від дальності стрільби.

Після диференціювання рівняння (6), воно приймає вид:

$$\frac{dH}{dx} = \sum_{i=0}^m i a_i x^{i-1}. \quad (7)$$

Підставивши рівняння (7) у третє рівняння системи диференціальних рівнянь (1), та вирішуючи його відносно кута падіння снаряду  $\Theta(x)$ , отримаємо:

$$\Theta(x) = \sum_{i=0}^m i a_i x^{i-1}, \quad (8)$$

На основі рівняння (8) розраховуються кути падіння снарядів з відповідною дискретністю ( $\Delta$ ).

4. Виконується апроксимація функції залежності  $\Theta(x)=f_2(x)$ , тобто

$$\Theta(x) = \sum_{i=0}^m b_i x^i, \quad (9)$$

де  $b_i$  – коефіцієнти поліноміальної функції залежності кутів падіння снарядів від дальності стрільби.

Після диференціювання рівняння (9) прийме вигляд:

$$\frac{d\Theta}{dx} = \sum_{i=0}^m i b_i x^{i-1}. \quad (10)$$

Підставивши рівняння (10) у друге рівняння системи диференціальних рівнянь (1) та вирішуючи його відносно швидкості польоту снаряда, отримаємо:

$$V(x) = \sqrt{\frac{-g}{\sum_{i=0}^m i b_i x^{i-1}}}. \quad (11)$$

На основі отриманої залежності (11) на всіх відстанях стрільби (з дискретністю  $\Delta$ ) розраховується швидкість польоту снаряда  $V(x)$ .

5. Виконується апроксимація функції залежності  $V(x)=f_3(x)$ :

$$\frac{dV}{dx} = \sum_{i=0}^m i c_i x^{i-1}, \quad (12)$$

де  $c_i$  – коефіцієнти поліноміальної функції залежності швидкості польоту снарядів від дальності стрільби.

Підставивши рівняння (12) у перше рівняння системи диференціальних рівнянь (1) та вирішуючи його відносно функції лобового опору повітря, отримаємо:

$$C_x(V) = \frac{dV/dx}{C_\sigma \times H(y) \times G(v)}. \quad (13)$$

На основі отриманої залежності (13) на всіх відстанях стрільби (з дискретністю  $\Delta$ ) розраховується лобовий опір повітря польоту снаряда в залежності від швидкості. При проведенні розрахунків виконується приведення до нормальних умов стрільби.

**Висновки.** Підхід, що пропонується, дозволяє з достатньою точністю вирішувати зворотну задачу зовнішньої балістики з мінімумом наближень. Точність

визначення закону опору повітря в першу чергу забезпечується за рахунок використання у якості вихідних даних експериментальних значень стрільб. Для отримання вихідних даних немає потреби використовувати додаткове обладнання для здійснення зовнішньо-траєкторних вимірювань. До того ж їх недоліком є неможливість отримання характеристик снаряда на кінцевих ділянках траєкторії, що призводить до необхідності використання додаткового радіолокаційного устаткування на балістичній трасі.

Збір вихідних даних можливо також здійснювати поступово (в ході планових стрільб) в різні пори року, так як запропонований підхід забезпечує врахування відхилення метеорологічних показників атмосфери від нормальних умов.

### СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Борисенко А.Д., Борисенко Н.Д., Маничев Б.В. О некоторых приближенных методах решения обратной задачи внешней баллистики. / Электронный научно-технический журнал «Инженерный вестник». №7, 2015. Издатель ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Н.Э. Баумана». Эл. №. ФС77-51036. ISSN 2307-0595. <http://engbul.bmstu.ru/doc/793581.html>.
2. Чернозубов А.Д., Кириленко В.Д., Разин И.И., Михайлов К.В. Внешняя баллистика (часть 1). М: Артиллерийская инженерная академия, 1954. 464 с.

3. Равдин И. Ф. Внешняя баллистика неуправляемых ракет и снарядов. М: Воениздат, 1973. 184 с.
4. Монченко Н. М. Инженерный расчётный метод определения аэродинамических характеристик снарядов ствольной артиллерии. Москва: НИИ-3, 1982. 34 с.
5. Бурдов В. В., Грабин В. В., Козлов А. Ю. Баллистика ствольных систем / под ред. Л. Н. Лысенко, А. М. Липанова. М: Машиностр., 2006. 461 с.
6. McCoy R. L. Modern Exterior Ballistics. Atglen, PA.: Schiffer Military History, 2012. 328 p.
7. Odom C. T. A revised drag coefficient, KD, based on the 8-Inch howitzer shell, HE, M106. Aberdeen proving ground, Maryland: Ballistic Research Laboratories Memorandum Report NO. 1065, 1957. 12 p.

Стаття надійшла до редколегії 26.12.2018 р.

**Рецензент Б. Оліярник**, д-р техн. наук, с.н.с.  
(Державне підприємство ДП «ЛДЗ» «Лорта»,  
м. Львів)

**Рецензент В. Сенаторов**, к.т.н., доцент  
(Центральний науково-дослідний інститут озброєння  
та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)  
<https://orcid.org/0000-0003-2645-0256>

УДК 621.385.64+621.793:623.423.3

DOI: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.1\(21\).35-40](https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.1(21).35-40)**О. І. ШКУРАТ,***зав. відділу інноваційних проектів та трансферу технологій,***В. А. БАТУРІН,** *к.ф.-м.н., с.н.с.,***С. І. БУГАЙОВ,** *пров. інж.,***О. Ю. КАРПЕНКО,** *м.н.с.,***С. М. КРАВЧЕНКО,** *м.н.с.,***В. М. КОЛОМІЄЦЬ,** *к.ф.-м.н., с.н.с.,***В. І. КОСТЕЦЬКИЙ,** *к.т.н., с.н.с.,***Р. Ю. ЛОПАТКІН,** *к.ф.-м.н., доц.,***Є. А. МИРОНЕЦЬ,** *м.н.с.**(Інститут прикладної фізики НАН України, м. Суми)***В. Ю. СТОРІЖКО,** *д.ф.-м.н., акад. НАН України, проф.,***С. О. ФІРСТОВ,** *д.ф.-м.н., акад. НАН України, пров. н.с.,***В. Ф. ГОРБАНЬ,** *д.т.н., пров. н.с.,***М. І. ДАНИЛЕНКО,** *к.ф.-м.н., с.н.с.**(Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, м. Київ)*

## Розробка технології процесу обробки каналу ствола гармати для підвищення його ресурсу

*Проведені дослідження, метою яких є отримання технології збільшення експлуатаційного ресурсу гарматних стволів, використовуючи метод магнетронного розпилення, як метод, що дозволяє отримувати високоякісні покриття з точки зору фізико-технічних характеристик.*

*Ключові слова: зносостійкі і корозійностійкі захисні покриття, гарматний ствол, метод магнетронного розпилення, циліндричний магнетрон, твердість, пружність.*

*Проведены исследования, целью которых является получение технологии увеличения эксплуатационного ресурса орудийных стволов, используя метод магнетронного распыления, как метод, позволяющий получать высококачественные покрытия с точки зрения физико-технических характеристик.*

*Ключевые слова: износостойкие и коррозионностойкие покрытия, пушечный ствол, метод магнетронного распыления, цилиндрический магнетрон, твердость, упругость.*

**Вступ.** Методика магнетронного розпилення досить швидко почала розвиватися в 1980-90-ті рр. і стала однією з важливих промислових технологій. Рушійною силою цього розвитку були постійно зростаючі вимоги до якості спеціальних покриттів в різноманітних галузях промисловості. Технологія магнетронного розпилення продемонструвала високі результати при отриманні зносо- та корозійностійких покриттів з низьким коефіцієнтом тертя. Стало зрозумілим, що використання цієї методики отримання покриттів може бути перспективним у військовій промисловості, зокрема, при виготовленні гарматних стволів [1, 2].

Поява сучасних вибухових речовин з підвищеною ефективністю і, як правило, з підвищеною температурою вибуху в стволі вимагає від виробників пошуку матеріалів, які б змогли витримувати такі жорсткі умови експлуатації гарматних стволів. Вивченню їх «живучості» присвячений цілий ряд наукових робіт [3], за результатами яких визначено, що скорочення терміну служби ствола відбувається внаслідок зносу (збільшення діаметра каналу, зміна профілю поперечного перерізу каналу ствола) і розпалу (ерозійний вплив порохових газів на поверхневі шари). На знос і розпал каналу ствола, в цілому, впливає досить велика кількість чинників, основними з яких є: високий тиск в каналі ствола 700 – 750 МПа; висока температура порохових газів 2500 – 3000 °С; агресивність продуктів згоряння порохових газів по відношенню до матеріалу ствола; фізико-механічні властивості матеріалу гарматного ствола; конструкція і матеріал обтіраючих пристроїв снаряда; умови експлуатації ствола (своєчасна промивка, чищення, змащення) і режиму вогню.

В результаті розпалу і зносу каналу гармати відбувається падіння початкової швидкості снаряду та погіршення кучності стрільби, що призводить до виходу ствола з ладу [4].

До початку 1980-х років було виконано досить великий обсяг досліджень, спрямованих на підвищення терміну служби гарматних стволів. В кінці 1990-х років були проведені дослідження, в яких не тільки проаналізовані причини ерозії та зносу, але й запропоновано теоретичні моделі процесів, що дозволяють прогнозувати ерозію гарматних стволів ще на стадії їх проектування [5, 6]. Крім того, значна увага приділялася розробці екологічно чистих технологій захисту артилерійських стволів і було запропоновано відмовитися від гальванічного хромування [7].

В останні роки в провідних країнах світу інтенсивно проводяться роботи по створенню ефективних захисних покриттів для внутрішньої поверхні каналу стволів різних калібрів, проте все ще не вдалося отримати покриття з характеристиками, що відповідають сучасним вимогам [8].

В роботі [9] відмічено, що одними з перспективних матеріалів для покриття внутрішньої поверхні стволів є: Ta, Nb, W, Mo, Cr-25Fe-15Mo, Mo-0,1%Co, Nb1%Zr, Ta-10W, Ta-Cr, TZM (0.5% Ti, 0,08% Zr, 0,02% C, решта Mo). З нашої точки зору, найбільш перспективними є Ta (з підшаром Ti або Nb для покращення адгезії) і CrN.

Відомо, що тантал в звичайному масивному стані має об'ємно-центровану форму  $\alpha$ -Та, і є виключно тугоплавким з температурою плавлення  $2996^{\circ}\text{C}$  проти  $1860^{\circ}\text{C}$  для хрому та має відносно низьку теплопровідність  $57\text{ Вт/м}^{\circ}\text{C}$  проти  $91\text{ Вт/м}^{\circ}\text{C}$  для хрому при  $20^{\circ}\text{C}$ . Крім того, тантал є хімічно стійким до корозійних порохових газів та більш пластичним, ніж гальванічний хром, що зменшує ймовірність утворення тріщин і подальше руйнування покриття. Також тантал – це екологічно чистий матеріал, який є безпечним для здоров'я людини. Зазначимо, що тантал, крім твердої  $\alpha$ -фази, має ще й крихку метастабільну тетрагональну фазу  $\beta$ -Та. Вважається, що  $\beta$ -Та переходить в  $\alpha$ -Та при температурі  $750^{\circ}\text{C}$  [10].

Вибір металів ніобію і титану, в якості підшару танталу, обумовлений такими їх фізико-хімічними параметрами, як висока пластичність і корозійна стійкість.

Зазвичай, нітриди хрому утворюють об'ємно-центровану форму CrN з параметром решітки  $4.14\text{ \AA}$  і гексагональну кристалічну структуру для  $\text{Cr}_2\text{N}$ . Зазначені сполуки досить легко отримати при використанні реактивного магнетронного напылення. Нітриди хрому мають високу твердість та модуль пружності, низький коефіцієнт тертя і володіють відмінними характеристиками по зносостійкості, корозійній стійкості, окисленню і абразивному стиранню. [10]

Відкритим питанням залишається технологія нанесення захисних покриттів. До перспективних в даному напрямку технологій відносять такі: вакуумно-дугове напылення; нанесення покриття методом плазового напылення; метод магнетронного розпилення, в тому числі і розпилення імпульсами високої потужності (High-power impulse magnetron sputtering (HIPIMS)) [11].

Американські та європейські розробники вакуумних технологій нанесення покриттів на деталі складної форми зосередили свою увагу, в основному, на методі циліндричного магнетронного розпилення, розробленому співробітниками Benet Laboratories (Watervliet Arsenal, Watervliet NY 12189-4050) [12].

На сьогодні в Україні однією з екологічно чистих методик збільшення «живучості» гарматних стволів є вакуумно-дугове напылення хрому, яка впроваджена на підприємстві ДП «КБ «Південне» [13]. Головна перевага цього методу полягає у високій енергії іонів розпиленого матеріалу (більше  $20\text{ eV}$ ), що дозволяє керувати структурою і властивостями покриттів шляхом прискорення іонів розпиленого матеріалу. При вакуумно-дуговому методі забезпечується висока адгезія покриттів та їх висока щільність, але в більшості випадків такі покриття характеризуються стовпчастою структурою зерна, яка зменшує ступінь захисту поверхні від корозії в результаті скупчення дефектів на межах зерен, які виникають в процесі росту покриття. Внаслідок цього по межах зерен можуть дифундувати атоми агресивного середовища (продукти згоряння пороху) і, при досягненні основного матеріалу гармати, руйнувати її [14]. Основним недоліком вакуумно-дугового методу є наявність крапленої фази на поверхні покриття, яка прискорює процес виносу матеріалу снарядом при пострілі.

Проблема іонізації атомів розпиленого матеріалу при магнетронному напыленні може бути вирішена за рахунок використання методу розпилення імпульсами високої потужності HIPIMS. В даному методі реалізується висока пікова потужність або щільність струму на катоді, яка сприяє збільшенню вмісту іонів металу мішені в плазмі. Це збільшення щільності іонізованих атомів металу призводить до покращення адгезії, твердості та зменшення шорсткості [15].

Отже, враховуючи наявні фізико-механічні властивості різних матеріалів і методів отримання покриттів, наразі є актуальною проблема створення високоякісних захисних покриттів на внутрішню поверхню гарматних стволів. Існує необхідність розробки потужних систем магнетронного розпилення особливої форми відповідно до внутрішньої форми стволів. Тому метою нашої роботи була розробка дослідного зразка циліндричного магнетрона (ЦМ) для очищення і напылення захисних покриттів на внутрішній поверхні гармат діаметром не

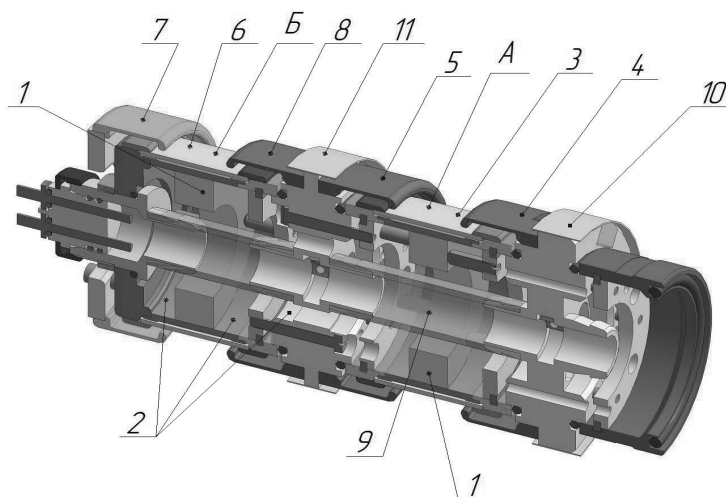


Рис. 1. Розріз головки циліндричного магнетрону: А – перший магнетрон; Б – другий магнетрон; 1 – магніти (SmCo); 2, 9 – герметичні канали; 3, 6 – катоди-мішені; 4, 5, 7, 8 – аноди; 10, 11 – захисні екрани.

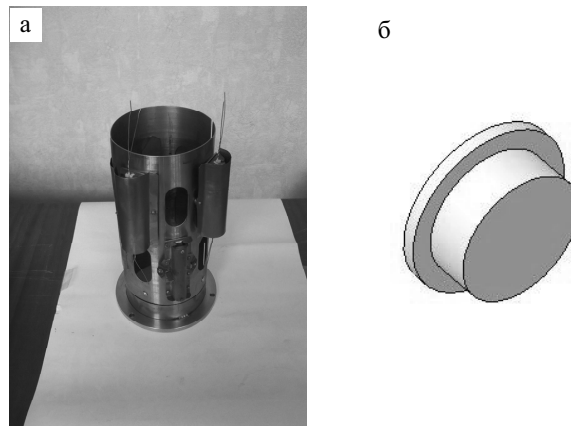


Рис. 2. Імітатор ствола з системою підігріву та контролю температури зразка-свідка (а) та зразок-свідок для імітатора ствола (б).

менше 120 мм, який може працювати як на постійному, так і на високочастотному, або імпульсному струмі [16].

**Конструкція циліндричного магнетрону та методика експерименту.** Нанесенням покриття методом магнетронного розпилення тугоплавких та хімічно стійких металів можливо виконати захист внутрішньої поверхні ствола гармати від агресивного впливу продуктів згоряння порошу. З цією метою було розроблено конструкторську документацію та виготовлено дослідний зразок циліндричного магнетрону для нанесення захисних покриттів на внутрішню поверхню труб складної форми.

**Опис циліндричної магнетронної системи.** Циліндричний магнетрон складається з 2-х подібних по конструкції магнетронів (рис. 1). Кожен з магнетронів складається з магнітної системи 1 на базі постійного магніту з SmCo з механізмом її юстирування та охолодженням проточною водою по каналу 2; катоду-мішені розпилення першого матеріалу 3 та двох кільце-подібних анодів 4, 5 (магнетрон А); катоду-мішені розпилення другого матеріалу 6 та анодів 7, 8 (магнетрон Б).

Наявність двох анодів на кожен магнетрон дає можливість перемішувати активну зону розпилення металу вздовж всієї циліндричної поверхні мішені з заданою швидкістю, що призводить до рівномірного розпилення катоду, що забезпечує раціональне використання матеріалу для захисного покриття.

Для досягнення максимальної ефективності розпилення мішені вона розміщена на технологічно мінімальній відстані від магнітної системи. При напуску робочого газу, наприклад Ar, в проміжку між анодом і мішенню запалюється технологічна плазма, яка складається з іонів та нейтральних молекул матеріалу мішені [17]. Для прискорення руху іонів розпиленого матеріалу між катодом та підкладкою (матеріал ствола гармати) подається напруга зміщення.

Для подачі електричної енергії до мішеней та анодів і відводу надлишкового тепла з магнітної системи ЦМ обладнаний герметичними каналами 2, 9. Конструктивно магнетрони ізольовані один від одного і можуть працювати автономно. Така схема надає додаткові можливості для відпрацювання технологічного процесу, а

також проводити додаткове очищення поверхні перед напilenням.

Враховуючи високу вартість ствола гармати було прийнято рішення відпрацювання технологічного процесу напilenня різними металами на складні внутрішні поверхні спеціальних труб проводити на імітаторі ствола (рис. 2а), який має систему підігріву та контролю температури. Процес напilenня безпосередньо відбувався на зразок-свідок (рис. 2б), виготовлений із сталі марки 0ХНЗМФА. Його форма одночасно імітує поверхні, як гладкого, так і нарізного ствола.

Для отримання високоякісного покриття, виконаного магнетронним методом, варто неухильно дотримуватися технологічного процесу підготовки внутрішньої поверхні ствола, який складається з трьох послідовних етапів: очищення поверхонь м'якими засобами; вакуумне очищення (дегазація при термообробці); очищення поверхонь іонно-променевим травленням.

Для виконання останньої операції реалізована схема очищення поверхні ствола з використанням магнетрону А в плазмі тліючого розряду. Зазначимо, що метод циліндричного магнетронного розпилення може бути використаний лише для внутрішніх діаметрів ствола не менше, ніж 60 мм.

**Випробування циліндричної магнетронної системи.** Випробування проводилося на установці ВНП-350.01, яка зображена на рисунку 3. Загальний вигляд системи розпилення та очищення для монтажу на ВНП-350.01 зображений на рис. 4.

За допомогою фланця 1 вона з'єднується з вакуумною камерою штатним ущільнювачем, вузол 2 (штулка з фторопласту в комплекті з гумовими кільцями та іншими деталями) забезпечує вакуумну герметичність рухомих елементів при переміщенні магнетронів 3, 4 від одного до другого ряду зразків 5 вздовж імітатора ствола 6 при почерговому виконанні технологічного процесу «іонна очистка поверхні – напilenня».

Для охолодження ЦМ використовувалася система з проточною дистильованою водою. Робоча камера установки, в яку був встановлений ЦМ відкачувалася за допомогою турбомолекулярного насоса до тиску



Рис. 3. Установка ВМП-350.01.

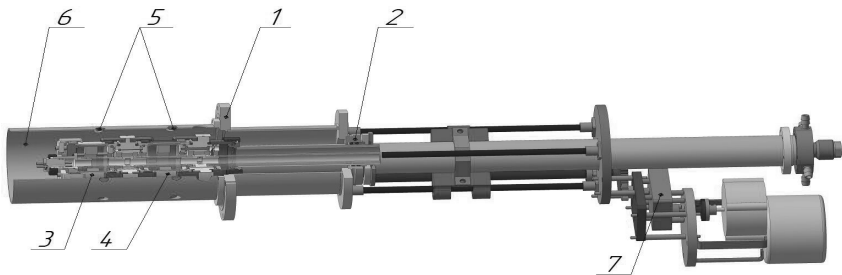


Рис. 4. Загальний вид циліндричної магнетронної системи розпилення: 1 – з’єднувальний фланець; 2 – ущільнювач; 3,4 – магнетрони; 5 – підкладки зі сталі; 6 – імітатор ствола; 7 – механізм переміщення

залишкових газів порядку  $10^{-3}$  Па. Тиск робочого газу аргону підтримувався на рівні 1 Па. Для формування розряду магнетрона на катод подавався від’ємний потенціал, а аноди були заземлені. Експериментально встановлено, що стабільність розряду магнетрону спостерігається при силі струму не менше 1 А.

**Очищення підкладок в тліючому розряді.** З ймовірних фізичних методів очищення поверхонь (іонно-променева, вакуумно-дугова, лазерна обробка) найбільш перспективним є застосування тліючого розряду, що дозволяє обробляти поверхні різної конфігурації та різної площі (в тому числі і внутрішні поверхні). Аномальний тліючий розряд, дозволяє в широких межах змінювати потенціал в катодній області, тобто енергію бомбардуючих іонів, в залежності від тиску газу і щільності струму на катоді. Для іонної очистки була використана діодна схему травлення, де внутрішня поверхня імітатора ствола виконувала функції катоду тліючого розряду. Якість обробки оцінювали візуально. Для цього попередньо на сталеві зразки наносився шар міді товщиною 300 нм, який бомбардувався іонами. Результати впливу тліючого розряду на поверхню зразків вважалися задовільними в тих експериментах, коли плівка міді була повністю стравлена. Для визначення оптимальних умов і режимів обробки тліючим розрядом циліндричний магнетрон був

поміщений в трубу (імітатор), на якому були закріплені досліджувані зразки. На імітатор із зразками подавався від’ємний потенціал величиною до 900 В. При цьому всі електроди магнетрона А були закорочені і перебували під потенціалом землі. В якості робочого середовища використовували інертний газ – аргон, тому основним механізмом обробки поверхонь є фізичне розпилення іонами аргону. Відпрацювання режимів очищення в тліючому розряді показало, що ефективне очищення поверхні починається при тисках аргону в камері від 3 до 10 Па, і напругах зміщення від 400 В і вище. З одного боку при збільшенні тиску газу в камері і напруги зміщення на зразках якість очищення збільшувалася, але з іншого боку при цьому збільшувалася ймовірність виникнення пробойів в камері та появи дугових розрядів. Оптимальним для даних умов був обраний наступний режим очищення поверхні зразків: тиску аргону в камері  $P_{Ar} = 3$  Па; плавний ріст напруги зміщення на імітаторі (відповідно до таблиці 1) до 900 В.

Таблиця 1  
Параметри збільшення напруги при очищенні

Час витримки $t$ , хв.	1	5	5	5	$\geq 5$
Напруга зміщення $U$ , В	0 – 600	600	700	800	900

Таблиця 2

## Фізико-механічні характеристики покриттів

Матеріал	$H_{IT}$ , ГПа	$E$ , ГПа	$\sigma_{es}$ , ГПа	$f$	$F_a$ , сН	$I_{lin} \cdot 10^{-7}$
Сг гальван.	13,0	237	3,990	0,053	11	0,33
Та магнетр.	5,3	192	1,626	0,275	21	0,34
Сг магнетр.	11,0	246	3,376	0,061	27	0,50
Сталь (підкладка)	3,3	210	1,012	0,198	28	2,85

де  $H_{IT}$  – твердість при автоматичному інdentуванні;  $E$  – модуль пружності;  $\sigma_{es}$  – величина межі текучості;  $f$  – коефіцієнт тертя;  $I_{lin}$  – характеристика лінійного зносу;  $F_a$  – навантаження, при якому спостерігається поява тріщин в матеріалі

Такий режим обробки зразків в тліючому розряді забезпечував повне з травлювання мідної плівки товщиною 300 нм з поверхні металу, що вказує на ефективність цього режиму для чищення підкладок.

**Випробування циліндричної системи з Та і Сг катодами.** Як зазначалося вище, одним з варіантів захисних покриттів, які витримують високі навантаження, можуть бути тугоплавкі захисні покриття на основі таких матеріалів як тантал, хром та сплави на їх основі. У зв'язку з цим були проведені попередні випробування циліндричної магнетронної системи з танталовим і хромовим катодом. Робоча камера установки відкачувалася до тиску залишкових газів порядку  $10^{-3}$  Па, а потім проводився напуск робочого газу Ar до тиску 1 Па. Під час роботи одного з магнетронів, інший закорочувався на землю. Експерименти з відпрацювання режимів роботи магнетронних систем проводилися при різній напрузі зміщення, яка подавалися на підкладкотримач із зразками. В якості підкладок використовувалися сталеві зразки марки 0ХНЗМФА. У кожному з випадків були додатково встановлені скляні підкладки «свідки» для визначення товщини одержуваної плівки.

Вимірювання товщини покриття проводилося методом багатопробевої інтерферометрії – методом смуг (ліній) рівного хроматичного порядку на мікроінтерферометрі МП-4.

Одношарові покриття з Та і Сг отримували при таких режимах роботи ЦМ напруга на магнетроні 120 – 280 В, сила струму 1 А, напруга зміщення 100 – 600 В, температура підкладок 30 і 300 °С. Товщина отриманих плівок становила 0,5 – 1,5 мкм. Випробування фізико-механічних властивостей покриття було виконано на обладнанні Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України.

**Дослідження механічних характеристик покриттів.** Визначення мікротвердості і приведенного модуля Юнга проводили на приладі «Мікрон-гамма» [18] пірамідою Берковича (кут  $65^\circ$ ) з навантаженням 200 – 300 г. Точність визначення навантаження складала  $10^{-3}$  Н, глибини проникнення інdentору – 2,5 нм. Вимірювання проводилися відповідно до міжнародного стандарту ISO 14577-1:2002.

Характеристики адгезійних властивостей покриттів визначали за допомогою впровадження гострого інdentора в покриття при постійно зростаючому

навантаженні і при переміщенні інdentора по поверхні покриття. В таблиці 2 представлені дані фізико-механічних властивостей отриманих за допомогою ЦМ захисних покриттів з Та і Сг та їх характеристики зносостійкості.

При дослідженні адгезійних властивостей цих покриттів встановлено, що в танталовому покритті тріщини з'являються лише при навантаженні більше 21 сН. Відмітимо, що в гальванічному хромовому покритті (зразок отриманий ПАТ «Сумське НВО») тріщини почали з'являтися вже при навантаженні 11 сН і покриття досить крихке. Серед досліджених зразків найбільш високе значення адгезії (27 сН) має хромове магнетронне покриття.

При цьому характеристики лінійного зносу для зразків отриманих магнетронним і гальванічним методами несуттєво відрізняються і в 5 – 10 разів менші за значення характеристики лінійного зносу для підкладок зі сталі.

Розроблена та виготовлена циліндрична магнетронна система розпилення металів дає можливість відпрацьовувати технологічний процес очищення внутрішньої поверхні стволів гармат діаметром не менше, ніж 120 мм, та напилення на них як одношарових, так і багатошарових захисних покриттів. До того ж, виготовлений циліндричний магнетрон є універсальним та може працювати, як на постійному, так і на високочастотному, або імпульсному струмі, що дає переваги в технологічній ефективності процесу напилення.

**Висновки.** Отримані за допомогою виготовленої циліндричної магнетронної системи захисні покриття з Та та Сг при оптимальних режимах осадження за твердістю не поступаються електролітичному хромовому покриттю, проте мають більш близький до сталі модуль пружності, що надає перевагу в використанні їх в якості захисного покриття ствола гармат. Також відмітимо, що цей метод отримання захисних покриттів є екологічно чистим і безпечним для здоров'я людини, що обумовлює перспективність таких покриттів на противагу гальванічним хромовим покриттям.

Позитивні результати випробувань дослідного зразка циліндричного магнетрону дають можливість створити експериментальну установку з вимогами конкретного виробника та використати результати роботи на різнопрофільних підприємствах України.

## СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Москвитин Г.В., Биргер Е.М., Поляков А.Н. и др. Научные технологии нанесения упрочняющих покрытий // *Металлообработка*. – 2015. – Т. 85, № 1. – С. 44 – 49.
2. Бебенин А.Н., Рудый В.И., Литовченко В.Н. и др. Исследование механических свойств защитных тугоплавких покрытий, нанесенных методом ионно-плазменного вакуумного магнетронного напыления // *Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева*. – 2014. – Т. 107, № 5. – С. 143 – 146.
3. Орлов Б.В., Ларман Э.К., Маликов В.Г. Устройство и проектирование стволов артиллерийских орудий. – Москва, Машиностроение, 1976. – 432 с.
4. Лазаренко С.В., Розоринов Г.Н., Хаскин В.Ю. и др. Применение лазерных технологий для увеличения эксплуатационного ресурса рабочих поверхностей // *Сучасний захист інформації*. – 2013. – №3. – С. 75 – 82.
5. Conroy P.J., Weinacht P., Nusca M.J. An investigation of the erosion physics / Mechanisms of current army systems (point studies) // *Techn. Report ARL-TR-2054*, Sep. 1999.
6. Sopok S., Ricard C., Pffegl G. et al. Erosion modeling of the high contraction chromium plated crusader gun system // *Techn. Report ARCCB-TR-03008*, June 2003.
7. Mulligan C.P., Smith S.B., Viyilmtle G.N. Characterization and comparison of magnetron sputtered and electroplated gun bore coatings // *J. Pressure Vessel Technol.* – 2006. – V. 128, № 2. – P. 240 – 245.
8. Надтока В.Н. Эрозия орудийных стволов // *Артиллерийское и стрелковое вооружение*. – 2006. – № 4. – С. 16 – 22.
9. Ahmad I. The problem of gun barrel erosion: an overview // *Gun propulsion technology. Progress in astronautics and Aeronautics* / Ed. M. Summerfield. – AIAA, 1988. – V. 109. – P. 311 – 356.
10. Lee S.L., Wei R., Lin J. et al. New PVD technologies for new ordnance coatings // *Techn. Report ARWSB-TR-12007*, April 2012.
11. Лепеш Г.В., Иванова Е.С. Имитационное моделирование термодинамического воздействия при испытании стойкости защитных покрытий // *Технико-технологические проблемы сервиса*. – 2016. – Т. 36, № 2. – С. 7 – 17.
12. Yee F., Wotzak M., Cipollo M.L. et al. Cylindrical magnetron sputtering in a ferromagnetic cylinder // *Fall News Bulletin SVC*. – 2004. – P. 28 – 34.
13. Надтока В.Н., Панков Р.В., Дейнеко Л.Н. и др. Экологически безопасный метод нанесения покрытий на внутренние поверхности // *Артиллерийское и стрелковое вооружение*. – 2009. – № 1. – С. 54 – 57.
14. Надтока В.Н. Защитные покрытия для орудийных стволов // *Артиллерийское и стрелковое вооружение*. – 2007. – № 1. – С. 34 – 42.
15. Alami J., Eklund P., Andersson J.M. et al. Phase tailoring of Ta thin films by highly ionized pulsed magnetron sputtering // *Thin Solid Films*. – 2010. – V. 515. – P. 3134 – 3438.
16. Надтока В.Н., Панков Р.В., Дейнеко Л.Н. Разработка концепции комплексной технологии термической и ионно-плазменной обработки изделий специального назначения // *Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия: Стародубовские чтения*. – 2011. – № 58. – С. 471 – 479.
17. Никитин М.М. Магнетронное распыление: эволюция схем напыления и ионизация потоков, взаимодействующих с подложкой // *Физика и химия обработки материалов*. – 2011. – №2. – С.27 – 36.
18. Игнатович С.Р., Закиев И.М. Универсальный микро/нано-индентометр «Микрон-гамма» // *Заводская лаборатория*. – 2011. – Т. 77, № 1. – С. 61 – 67.

Стаття надійшла до редколегії 23.11.2018 р.

**Рецензент Ю.М. Подрезов**, д-р ф-м. наук  
(Інститут проблем матеріалознавства імені  
І.М. Францевича НАН України, м. Київ)

**Рецензент С.В. Лапицький**, д-р техн. наук, професор  
(Центральний науково-дослідний інститут озброєння  
та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)  
<https://orcid.org/0000-0003-2645-0256>



УДК 355.1

DOI: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.1\(21\).41-46](https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.1(21).41-46)

**О.В. МАЙСТРЕНКО**, доктор військових наук,  
начальник кафедри ракетних військ

(Національна академія сухопутних військ імені  
гетьмана Петра Сагайдачного, м. Львів)

**В.С. АРТАМОЩЕНКО**, кандидат військових наук,  
доцент, заступник директора департаменту  
військової освіти, науки, соціальної та гуманітарної  
політики Міністерства оборони України

(Департамент військової освіти, науки, соціальної  
та гуманітарної політики Міністерства оборони  
України, м. Київ)

**Р.В. БУБЕНЩИКОВ**, викладач кафедри ракетних  
військ факультету ракетних військ і артилерії  
(Національна академія сухопутних військ імені  
гетьмана Петра Сагайдачного, м. Львів)

**С.І. СТЕГУРА**, старший викладач кафедри ракетних  
військ факультету ракетних військ і артилерії  
(Національна академія сухопутних військ імені  
гетьмана Петра Сагайдачного, м. Львів)

**Л. С. ДАВИДОВСЬКИЙ**, кандидат технічних наук,  
старший науковий співробітник науково-дослідного  
відділу розвитку озброєння та військової техніки Сил  
спеціальних операцій, (Центральний науково-дослідний  
інститут озброєння та військової техніки Збройних  
Сил України, м. Київ) ORCID 0000-0002-2529-1989

## Підхід до визначення доцільного функціонально- організаційного об'єднання окремих функціональних елементів підсистем вогневого ураження противника

У статті викладена методика визначення доцільного функціонально-організаційного об'єднання окремих функціональних елементів підсистем вогневого ураження противника з урахуванням затрат, яка базується на принципі збалансованості сил і засобів підсистем вогневого ураження противника та удосконаленій сукупності показників властивостей підсистем вогневого ураження противника, а також з урахуванням удосконаленого підходу до визначення чинників, які суттєво впливають на процес вогневого ураження противника.

Ключові слова: вогневе ураження противника, розвідка, управління, вогневий вплив, функціонально-організаційне об'єднання, окремі функціональні елементи.

В статье изложена впервые разработанная методика определения целесообразного функционально-организационного объединения отдельных функциональных элементов подсистем огнестрельного поражения противника с учетом затрат, основанная на принципиальном сбалансированности сил и средств подсистем огнестрельного поражения противника и усовершенствованной совокупности показателей свойств подсистем огнестрельного поражения противника, а также с учетом усовершенствованного подхода к определению факторов, которые существенно влияют на процесс огнестрельного поражения противника.

Ключевые слова: огневое поражение противника, разведка, управление, огневое влияние, функционально-организационное объединение, отдельные функциональные элементы.

### Постановка проблеми.

Результати аналізу бойового застосування військових формувань (ВФ) ракетних військ і артилерії (РВіА) під час вогневого ураження противника (ВУП) в сучасних воєнних конфліктах [1–3] свідчать, що достатньо часто фактичні результати ВУП не відповідають запланованим. Як правило причиною означеного є відносно малий рівень викриття об'єктів противника на момент планування ВУП, неможливість обробити отриману розвідувальну інформацію, недостатність сил і засобів вогневого впливу для виконання завдань. До того ж, невідповідність можливостей ВФ РВіА щодо розвідки, управління та вогневого впливу між собою приводить до недореалізації одних можливостей при недостатніх інших можливостях. Означене є причиною або невиконання (в повному об'ємі) завдань ВУП або залучення до виконання завдань надлишкової кількості сил і засобів.

Інколи в практиці бойового застосування ВФ застосовується так зване функціональне об'єднання окремих елементів підсистем ВУП в єдину мережу [3–5] для підвищення ступеня реалізації можливостей означених підсистем. Таке об'єднання прийнято називати мережевоцентричним [3–5]. Звичайно суто функціональні переваги мережевоцентричного об'єднання порівняно з централізованим (платформоцентричним) є беззаперечними. Однак, якщо розглядати в площині результат-затрати [3–5], то необхідно відмітити, що створення єдиної мережі потребує значних як прямих ресурсних затрат на створення, так і супутніх пов'язаних із необхідністю зменшення ризику витоку (або спотворення) інформації.

Таким чином, в практиці бойового застосування ВФ РВіА виникла нагальна потреба у розробці таких методичних підходів, які дозволять так функціонально об'єднати підсистеми ВУП, що дозволить максимізувати результат ВУП при визначених ресурсних затратах.

### Огляд останніх досліджень і публікацій.

В наявних публікаціях і дослідженнях, присвячених підвищенню ефективності ВУП [6–8], питанню об'єднання сил і засобів ВФ РВіА під час ВУП в єдину функціонально-організаційну систему, увага приділена, як правило технічній складовій питання, або виявленню переваг мережевоцентричного об'єднання перед платформоцентричним. Причому необхідно відмітити, що в деяких дослідженнях розглядаються об'єднання окремо по підсистемам (розвідки, управління, вогневого впливу) [6] так би мовити «горизонтальна» площа, а в деяких по окремим функціональним напрямкам (розвідувально-вогневим (ударним) комплекси) [7] – «вертикальна» площа. Нажаль існує відносно невелика кількість публікацій та досліджень, які розглядають як «горизонтальну» площину (по підсистемам), так і «вертикальну» (від розвідки до вогневого впливу) разом (розвідувально-вогнева система) [8]. Однак саме комплексний розгляд функціонально-організаційного об'єднання окремих елементів підсистем ВУП може дозволити досліджувати ефективність функціонування ВФ під час ВУП з урахуванням затрат.

**Метою та завданням статті є** розроблення підходу до визначення доцільного функціонально-організаційного об'єднання окремих функціональних елементів підсистем ВУП з урахуванням затрат.

#### Викладення основного матеріалу дослідження.

Складність означеного дослідження обумовлюється в першу чергу визначенням величини затрат на створення мережецентричного об'єднання. Звичайно можливо певним чином опосередковано визначити вартість робіт на розробку, виробництво та впровадження технічної системи [9], яка б дозволяла б функціонально об'єднувати окремі елементи підсистем ВУП. Однак такий підхід стикається із відносно великою невизначеністю внаслідок не фіксованої вартості робіт, плаваючим курсом грошових одиниць, неврахуванням відносно великої кількості операцій, які будуть супроводжувати процес розробки, виробництва та впровадження технічної системи.

Можливо застосувати інший підхід відповідно до якого доцільність створення такої системи можна визначити за рівнем ентропії [10], яка виникає внаслідок зростання об'єму інформації, яка буде циркулювати в цій системі. Однак такий підхід дозволить оцінити функціонування лише самої системи, іншими словами технічну доцільність, яка лише опосередковано буде пов'язана з ефективністю функціонування ВФ під час ВУП.

З огляду на означене пропонується використати такий підхід в якому за одиницю розрахунків прийняти ліній зв'язку. Тобто на створення однієї лінії зв'язку між

окремими елементами підсистем ВУП необхідно затратити певну кількість ресурсів причому їхня кількість буде враховувати чинники означені раніше. До того ж, по своїй суті об'єднання окремих елементів підсистем ВУП в єдину мережу і є прокладення ліній зв'язку між ними. Тут під терміном прокладення розуміється створення будь то кабельної або бездротової лінії.

Відповідно до прийнятого підходу визначення затрат та до суті процесу ВУП в реальних умовах можливо зробити попередній висновок про те, що організаційно-функціональна схема об'єднання окремих елементів підсистем ВУП в залежності від умов буде відрізнятися для одного і того ж набору сил і засобів. Тому пропонується в цілому акцент зробити не на обґрунтуванні універсальних рекомендацій, які з певними допущеннями будуть доцільними для усього спектру умов, а на розробленні методики, яка б дозволила в залежності від умов будувати доцільну схему організаційно-функціонального об'єднання окремих елементів.

Загалом же необхідно зазначити, що об'єднання окремих функціональних елементів буде доцільним в тому випадку прийняття можливостей однієї із підсистем за основні і відповідно до принципу збалансованості [11] визначати порядок об'єднання окремих функціональних елементів інших підсистем. Причому необхідно зауважити, що можливості тих підсистем, які не були визначені як основні можуть бути недореалізовані, хоча і в меншій мірі ніж при суто платформоцентричному об'єднанні, але тим не менше таку неповну реалізацію

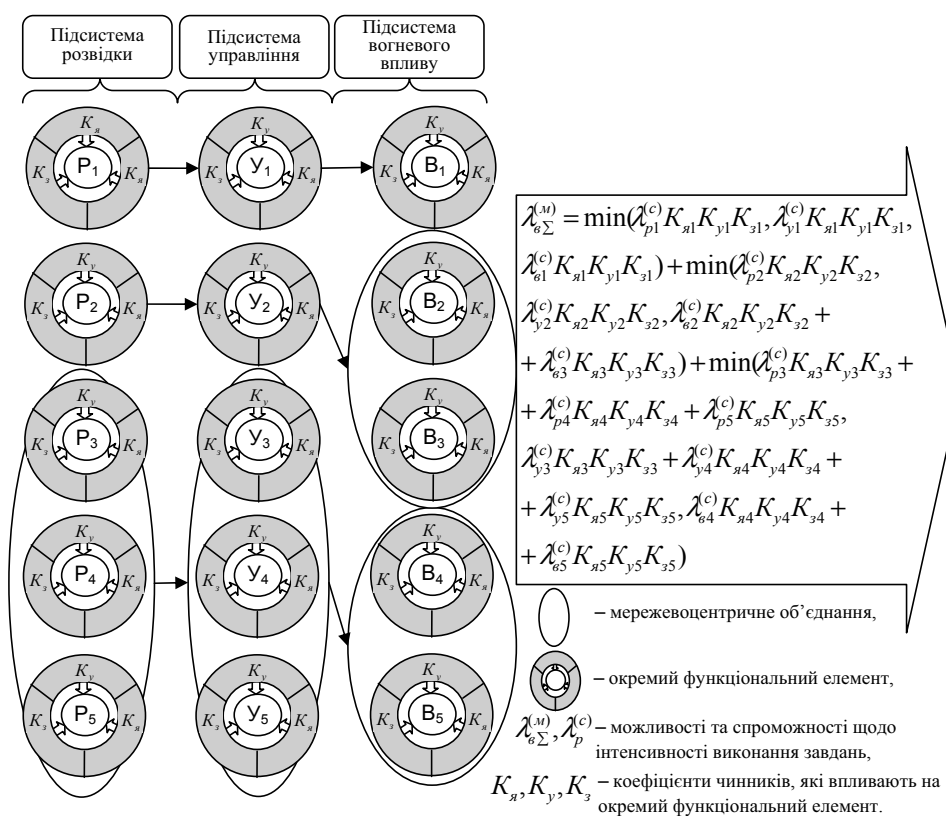


Рис. 1. Функціонально-організаційна схема системи ВУП з урахуванням чинників, які впливають на спроможності окремого функціонального елемента у процесі ВУП

можливостей необхідно враховувати. Тим більше означене дозволить вибрати ту підсистему ВУП, яка потребує найбільшого ступеня реалізації можливостей. Так, на думку автора, основною підсистемою ВУП, за якою пропонується визначати можливості окремих функціональних елементів є підсистема вогневого впливу. До того ж, підсистема вогневого впливу єдина із підсистем ВУП здатна приносити загально операційний цільовий ефект.

Важливим питанням для розроблення методики визначення доцільного функціонально-організаційного об'єднання окремих елементів підсистем ВУП при фіксованих затратах є вибір показників властивостей підсистем ВУП, які за своєю суттю були б певним чином однорідними, тобто мали однаковий (або хоча б схожий) фізичний сенс. Так для умов дослідження процесу ВУП пропонується прийняти удосконалену у попередніх дослідженнях сукупність показників [12], які за своєю сутністю відображають певну «обробку» об'єкта для ураження.

Також під час визначення величин показників властивостей окремих функціональних елементів для запобігання неточностей в подальших розрахунках необхідно враховувати чинники, які суттєво впливають на процес функціонування означеного окремого елемента [13].

В цілому ж функціонально-організаційна схема об'єднання окремих функціональних елементів

підсистем ВУП повинна відображати загальний порядок взаємодії, вираженої через відповідні показники та з урахуванням відповідних чинників, як окремих функціональних елементів так і підсистем ВУП в цілому (рис. 1).

Результати аналізу функціонально-організаційної схеми системи ВУП (рис. 1) свідчить, що величина сумарних можливостей щодо ВУП буде суттєво залежати від частки окремих функціональних елементів об'єднаних в єдину мережу. Однак якщо можливості підсистем збалансовані, то підвищення ступеню реалізації можливостей при мережевоцентричному об'єднанні буде незначним.

Зважаючи на означену сукупність показників та загальний вигляд функціонально-організаційної схеми системи ВУП основними пунктами роботи щодо визначення доцільного функціонально-організаційного об'єднання окремих елементів підсистем ВУП пропонується наступні: визначення можливостей окремих функціональних елементів кожної із підсистем (розвідки, управління, вогневого впливу), визначення організаційного об'єднання окремих функціональних елементів підсистеми вогневого впливу, компонування окремих функціональних елементів підсистеми управління у відповідності до можливостей організаційних об'єднань підсистеми вогневого впливу, компонування окремих

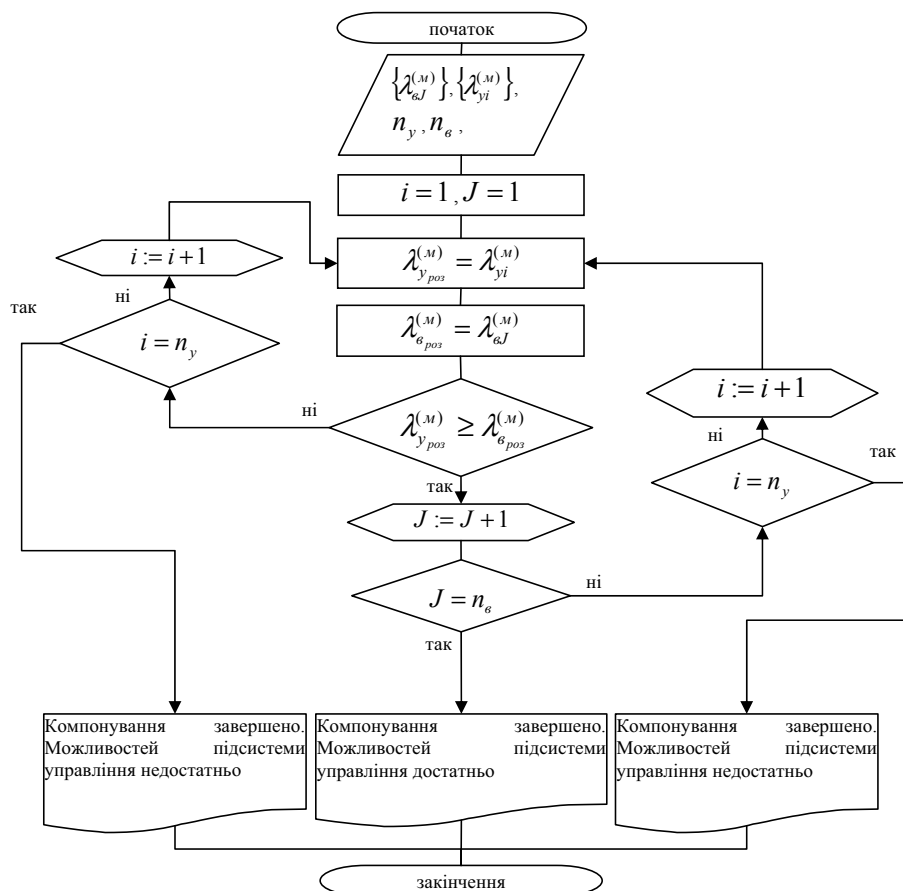


Рис. 2. Блок-схема компонування окремих функціональних елементів підсистеми управління у відповідності до можливостей організаційних об'єднань підсистеми вогневого впливу

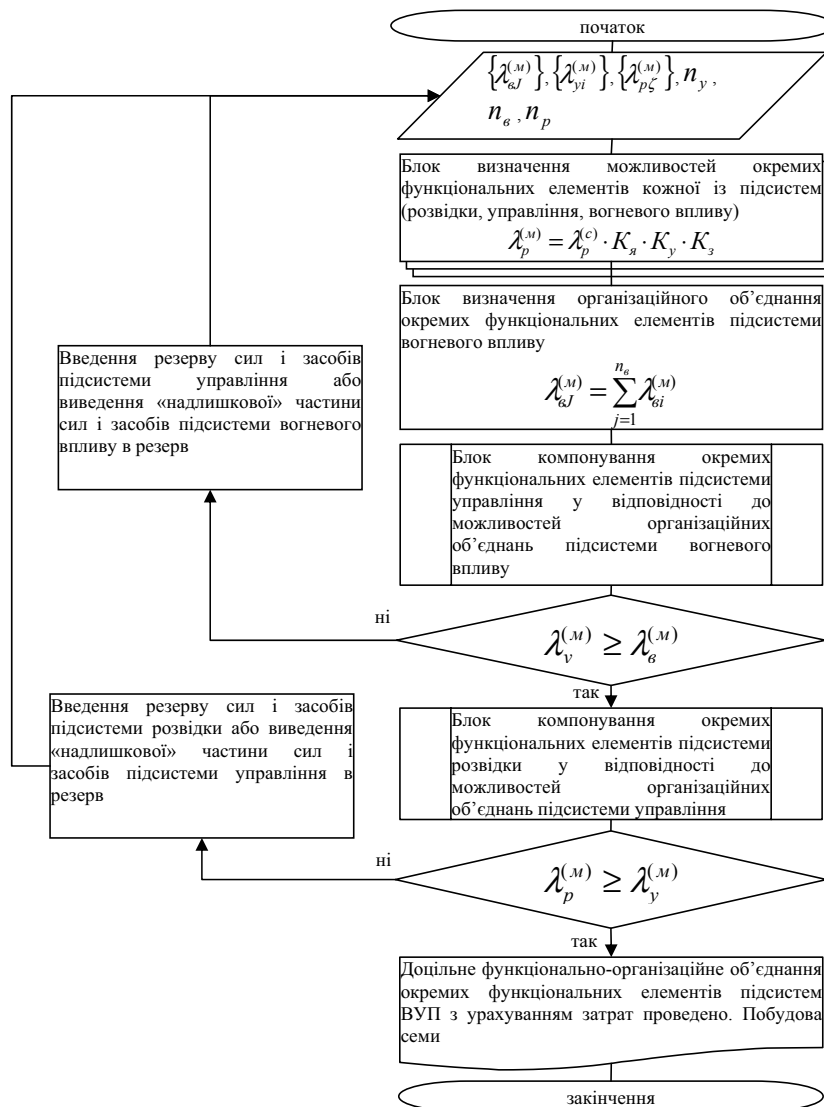


Рис. 3. Блок-схема алгоритму методики визначення доцільного функціонально-організаційного об'єднання окремих функціональних елементів підсистем ВУП з урахуванням затрат

функціональних елементів підсистеми розвідки у відповідності до можливостей організаційних об'єднань підсистеми управління.

Визначення можливостей окремих функціональних елементів кожної із підсистем (розвідки, управління, вогневого впливу) було викладено в попередніх дослідженнях [12–13], однак необхідно зауважити, що загальний зміст цього процесу включає визначення спроможностей, визначення величин коефіцієнтів чинників, надалі через врахування означених чинників та спроможностей визначення можливостей (1).

$$\lambda_p^{(M)} = \lambda_p^{(c)} \cdot K_{\alpha} \cdot K_y \cdot K_z, \quad (1)$$

Наступним пунктом є визначення організаційного об'єднання окремих функціональних елементів підсистеми вогневого впливу. Необхідність цього пункту полягає в тому, що певні окремі функціональні елементи вже об'єднанні, як то батарея, дивізіон. Тому доцільним є врахувати таке об'єднання і в подальшому підбирати таку сукупність окремих функціональних елементів

підсистеми управління та розвідки, які б могли задовольнити потреби означених організаційних об'єднань. Визначення сумарних можливостей означеного локального (мається на увазі в межах однієї підсистеми) об'єднання пропонується проводити за певною розрахунковою формулою (2).

$$\lambda_{\alpha j}^{(M)} = \sum_{i=1}^{n_{\alpha}} \lambda_{\alpha i}^{(M)}, \quad (2)$$

де,  $j$  – порядковий номер окремого функціонального елемента, який входить до локального об'єднання,  $j$  – порядковий номер локального об'єднання окремих функціональних елементів в мережу.

$n_{\alpha}$  – кількість окремих функціональних елементів, які входить до локального об'єднання.

Відповідно компонування окремих функціональних елементів підсистеми управління у відповідності до можливостей організаційних об'єднань підсистеми вогневого впливу пропонується проводити певним ітераційним шляхом. Тобто порівняти можливості окремого

функціонального елементу або локального об'єднання означених елементів підсистеми вогневого впливу з можливостями одного із елементів підсистеми управління у разі недостатності додати ще один елемент і так продовжувати доки можливості елементів управління будуть рівними або дещо більшими можливостей елемента (локального об'єднання елементів) підсистеми вогневого впливу. В цілому ж означений алгоритм можливо відобразити з допомогою блок-схеми (рис. 2).

На блок-схемі позначено  $\lambda_{y_{роз}}^{(м)}$  – розрахункове значення можливостей підсистеми управління,  $\lambda_{p_{роз}}^{(м)}$  – розрахункове значення можливостей підсистеми вогневого впливу,  $i$  – порядковий номер окремого функціонального елемента підсистеми управління,  $n_y$  – кількість окремих функціональних елементів підсистеми управління.

Аналогічно пропонується проводити компоновання окремих функціональних елементів підсистеми розвідки.

В цілому ж алгоритм методики визначення доцільного функціонально-організаційного об'єднання окремих функціональних елементів підсистем ВУП з урахуванням затрат відображено на рис. 3 у вигляді блок-схеми.

Застосування означеної методики може дозволити визначати таке мінімально необхідне об'єднання окремих функціональних елементів, яке дозволить максимізувати ступінь реалізації можливостей усіх підсистем ВУП. Однак необхідно звернути увагу на ті випадки, коли можливостей підсистеми управління або розвідки виявилось недостатньо. В такому разі, при наявності резервних сил і засобів можливо поповнити ці підсистеми для підвищення їх можливостей. В тому випадку коли резервних сил і засобів немає пропонується «надлишкові» сили і засоби підсистеми вогневого впливу вивести в резерв, що дозволить при збереженні сумарного рівня реалізації можливостей щодо вогневого впливу на противника підвищити стійкість підсистеми ВУП.

### Висновки.

Таким чином в статті висвітлений підхід до визначення доцільного функціонально-організаційного об'єднання окремих функціональних елементів підсистем вогневого ураження противника, зокрема: методика визначення доцільного функціонально-організаційного об'єднання окремих функціональних елементів підсистем ВУП, яка на відміну від існуючих дозволяє враховувати затрати на ВУП та базується на принципі збалансованості сил і засобів підсистем ВУП та удосконаленій сукупності показників властивостей підсистем ВУП, а також дозволяє враховувати удосконалений підхід до визначення чинників, які суттєво впливають на процес ВУП.

Застосування означеної методики дозволить мінімізувати затрати на об'єднання окремих функціональних елементів, оптимізувати функціонально-організаційні зв'язки між окремими функціональними елементами та підсистемами ВУП, підвищити стійкість функціонування підсистем через створення певного резерву сил і засобів. Як свідчать розрахунки проведені в попередніх дослідженнях застосування мережецентричного об'єднання сил і засобів ВУП може підвищити ступінь

реалізації можливостей щодо ВУП в середньому на 15%.

Подальші дослідження пропонується присвятити удосконаленню певних питань пов'язаних з методикою оперативно-тактичних розрахунків при плануванні ВУП.

### СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. <http://www.mil.gov.ua/analitichni-materiali/> Аналіз Генерального штабу ЗСУ щодо бойових дій на Дебальцевському плацдармі з 27 січня до 18 лютого 2015 року.
2. Матеріали доповідей науково-практичного семінару кафедри РВіА «Перспективи бойового застосування ракетних військ і артилерії ЗС України». – Львів: АСВ, 2015. – С.112.
3. Давидовський Л.С. Визначення напрямів підвищення захищеності бойових броньованих машин на основі аналізу бойових уражень / Давидовський Л.С., Бісик С.П. // Збірник наукових праць ЦНДІ ОБТ ЗС України. Вип. 1(68). К. : ЦНДІ ОБТ ЗС України, 2018. С. 45-54. Т; Інв. №.4878.
4. Люттвак Едвард Н. Стратегия: Логика войны и мира / Эдвард Н. Люттвак. Пер. з англ. Ковалю А.Н. – М. : Фонд Содействия Образованию и Науке, 2015. – 329 с.
5. Загорка О.М. До питання застосування розвідувально-ударних і розвідувально-вогневих комплексів у мережецентричній війні / Загорка О.М., Колесников В.О., Коваль В.В., Загорка І.О. – Харків: ХНУПС, 2012. – Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України, № 3(9). – С. 8-13.
6. Фесенко Ю.Н. Об особенностях огневого поражения группировок войск / Ю.Н.Фесенко // Военная мысль. – 2000. – № 5. – С. 57-65
7. Анисимов В.Г. Моделирование борьбы с разведывательно-ударными комплексами / Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г., Бутенко В.А. – Л.: изд ЛВАА им. М.И. Калинина, 1992. – 190 с.
8. Черниш А.Я. К вопросу о создании разведывательно-огневой системы ракетных войск и артиллерии объединения / А.Я. Черниш, В.Ю. Щербаков, В.А. Тимченко // Военная мысль. – 1994. – № 2. – С. 28-32.
9. Поляк Г.Л. Математическая модель экономических последствий вооруженного противостояния неравных по силе противников/Г.Л. Поляк//Математические и инструментальные методы экономики. – Тамбов: изд.ТГТУ. – 2011., № 12(85).С.381–386.
10. Волькенштейн М. В. Энтропия и информация. – М.: Наука, 1986. – 192 с.
11. Майстренко О.В. Еволюція змісту принципів застосування військових формувань ракетних військ і артилерії під час вогневого ураження противника / Майстренко О.В., Репіло Ю.Є., Адаменко М.В. // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. – 2016. – №1. – С. 44-48.

12. Майстренко О.В. Сукупність властивостей військового формування та їх показників в процесі вогневого ураження противника / Майстренко О.В. // Труди університету. – 2016. – № 1 – С. 64-69.
13. Майстренко О.В. Обґрунтування загального підходу до визначення сукупності чинників, які впливають на процес вогневого ураження противника та величин їх показників / Майстренко О.В. // Збірник

наукових праць НАДПС України. – 2016. – № 6 – С. 112-117.

Стаття надійшла до редколегії 19.02.2019 р.

**Рецензент С.В. Лапицький**, д-р техн. наук, професор  
(Центральний науково-дослідний інститут озброєння  
та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)  
<https://orcid.org/0000-0003-2645-0256>

УДК 519.87:623.46

DOI: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.1\(21\).47-53](https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.1(21).47-53)**S.E. BOYCHUN**, engineer

(State Enterprise Design Bureau "Pivdenne" named after M.K. Yangel)

## Mathematical modeling and experimental working off of gas-liquid systems for separation of reactive shells (on the basis of the matmech program package)

*Наведено аналітичний матеріал щодо мети та задач систем автоматизованого проектування авіакосмічних підприємств, основні принципи реалізації таких САПР на базі CALS/PLM – технологій.*

*Ключові слова: САПР, CALS/PLM – технології, програмні системи.*

*This paper presents general information about the complex of mathematical models and experimental working off of separation systems of reactive shells based on the MATMECH software package. The article may be useful for scientific and technical workers of the defense industry.*

*Key words: heat-mechanical system, split ammunition, computer technology.*

The current state of the methodological basis for the synthesis of gas-liquid heat-mechanical systems is far from its transformation into a holistic scientific theory. At the same time, in a number of ways of scientific and technical development related to rocket and artillery engineering, develops approaches to the integrated interconnected solution of emerging problems of process modeling [1].

Mathematical models and methods have been developed in the course of a number of scientific and research projects since the days of the Soviet Union. The starting point for the development of the software package «MATMECH» was the work [2], which included the method of calculating the functioning of the power gas drive. Further improvement of these methods was carried out in the framework of scientific and research projects conducted at the Baltic State Technical University in conjunction with the research and production enterprise «SPLAV» until 2000. And finally, the latest version of the methodology became a reality thanks to the development of computer technology and led to the development of an application package (APP) of the machine analysis of the MATMECH heat-mechanical systems [3].

It should be noted that the basis of the package are the practical results of a number of studies. These are the works of A.M. Lipanov [4], Ye.A. Kozlov [5] on the theory of intracameral processes in solid-fuel rocket systems and linking them into single set of tasks for calculating combustion, heat transfer, strength, and solving these problems in systems of interconnected areas. In the ballistics of the barrel systems and light-gas installations in a single complex, the tasks of hydro gas dynamics, heat exchange, and dynamics of movement of the projectile are linked. It should be noted the work of L.V. Komarovskiy [6], I.G. Rusyak [7]. In the dynamics of projectile – propellant complexes and pyromechanisms, the tasks of calculating intraballistic and dynamic parameters in systems of interconnected cavities with moving elements are connected into a single complex. Here we should highlight the results of Shipunov's work, [8]. When calculating the power gas drives of the simplest scheme, the tasks of internal ballistics in the system volumes, gas dynamics of the currents in the channels, and movement of moving elements are jointly solved. Here we should highlight the work of D.Kh. Spark [9].

Regarding the tasks of applied mechanics and ballistics in the software complex «MATMECH» implemented:

- mathematical models and methods for calculating the combustion of granular gunpowder in systems of communicating volumes, taking into account the transfer and burning out of gunpowder grains in adjacent cavities;
- mathematical models and methods for calculating the functioning of gas-liquid pressure systems (GLPS) of various design schemes;
- mathematical models and methods for calculating the dynamics of the opening on the trajectory of the divided head part of volley fire shells (DW VFS) of various design schemes and for determining the initial conditions of movement of the separating combat elements;
- established dependences of the influence of the transfer of powder grains on the dynamics of the opening of the DW VFS;

Table 1. The main characteristics of some initiating devices

Type of exploder	TM-120	9E260	9E268
1. Characteristics of a squib: – brand of powder – powder mass, g – type of charge	SGP-2 8 ±0,2 bulk powder	SGP – 3 (2,45±0,1)x2 subpress checkers	SGP – 3 (4,5±0,2)x2 subpress checkers
2. Size of working volume, cm3	8,0	2,5	5,85
3. Parameters of the bursting membrane: – material – type of membrane  – geometric dimensions: diameter, mm Thickness, mm	steel without notching   18,7 0,5	aluminum with central channel   2,8	aluminum cruciform notching   10,0 0,2

- the established dependences of the effect of residual gas in liquid cavities on the dynamics of the functioning of the GLPS;
- established dependences of the influence of constructive parameters and initial conditions of motion on the dynamics of the opening on the trajectory of the DW VFS of various constructive schemes;
- established dependences of the effect of heat losses and non-stationary processes in highways on the dynamics of typical gas drives DW VFS;
- the established dependences of the influence of aerodynamic heating and overloads acting on the DW VFS on the trajectory on the stress-strain state of the structural elements.

The solution of the tasks is achieved by forming a holistic system of interrelated mathematical models and their numerical implementation using finite-difference methods as part of a single software complex that provides a solution to the dynamic problems of a wide class of gas-liquid heat mechanical systems in an automated interactive mode.

The developed calculation methodology is fully implemented in the form of a single package of applied programs for machine analysis of the gas-liquid heat mechanical systems «MATMECH», which is a parametrically adjustable software complex.

We will provide general information about the systems of separation of shells as objects for modeling the package of applied programs for machine analysis of gas-liquid heat mechanical systems.

**Block modeling systems for the separation of rockets** includes the calculation segments: separation mechanisms, opening mechanisms, mechanisms of combat elements scatter.

In turn, **the separation mechanisms** (as initial data for modeling) are divided into gas-dynamic (powder charges, brake motors, powder pressure accumulators), aero – and hydrodynamic (brake plates), mechanical (springs), pneumatic (air pressure accumulators), explosives (pyrobolts, detonation charges).

**The opening mechanisms of head part (HP)** are represented as gas dynamic (powder pressure accumulators,

pulsed powder charges) and explosive (detonation charges, explosive) varieties.

And finally, **the combat elements scatter mechanisms** are represented by five types of models: aerodynamic (skew feathering, shields), gas dynamic (separating engines, inflatable sheath, and pushers), inertial (spin up mechanisms, engines, pins), explosive (explosive substance + central pipes), mechanical (elastic spring loaded elements).

A characteristic feature of the package for calculating ammunition of rocket-jet systems and, first of all, supplied with cluster-type head parts, is the presence of a large number of models for calculating powder charges, intended for separating, opening and cocking fusing devices of combat elements (CE). At the same time, an important constructive element of the model of a separating rocket, which automatically controls its action on the trajectory, is the exploder. This is due to the fact that the control function of the exploder is to activate the mechanisms of separation, opening and engaging the head part (HP) at a given most advantageous point in time, or at the optimum trajectory point relative to the target. At the same time, the final executive function of the exploder is issuing a command to trigger the mechanisms in the form of a reinforced igniter or detonation pulse.

The common constructive feature of models of initiating devices in the MATMECH software complex is the placement of a reinforcing powder squib in a small volume that has a fracture element in the direction of the initiated link (for example, charge of the HP section), made in the form of a steel turned bottom or an aluminum rupture membrane with thinning (an example is picture 1). The main characteristics of the most used initiating devices produced in Russia are presented in Table 1.

In the application package are also calculated the constructive schemes of RP (rocket projectile), in which separation of HP from the rocket is carried out either by using the resistance forces of the external environment or by the internal forces created in the projectile.

In the first case, the HP separation is realized, for example, by braking the rocket part using aerodynamic shield or auxiliary brake engines.



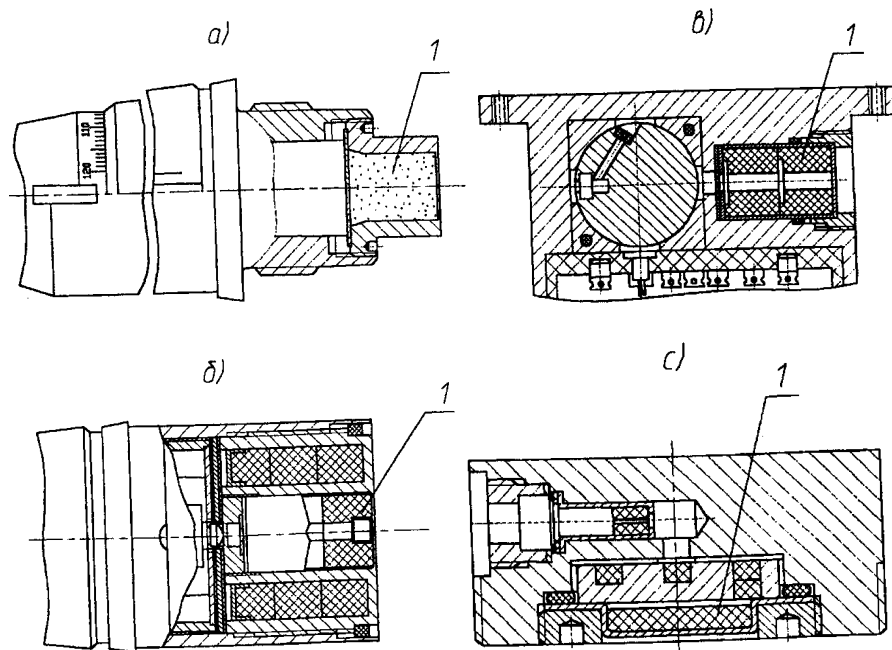


Figure 1 - Schemes of initiating devices used in models: a) mechanical tube TM-120, b) remote-contact exploder 9E260, c) safety-actuating mechanism 9E268, d) compartment separation device 9X59 (1 - powder squib)

The simulation algorithm is as follows: when braking with aerodynamic guards, the last are installed in the folded position on the tail section of the hull or on stabilizers. In the next simulation cycle, the shields are opened, which increases the aerodynamic resistance of the rocket part. The shields are structurally simple and can be made, for example, from steel sheets with stiffeners that twist around two-three hinges. However, they are used only for projectiles with high flight speeds or for separating head part in dense environments (water).

The main calculated element of the mechanical separation device is: a bursting bolt that connects the head and rocket parts of the projectile with their ends before the separation begins, and the springs, the energy of preliminary compression of which ensures the outgoing of HP. Such mechanisms are pretty simple in execution, but due to the limited effort of compression (energy reserve) of the springs, they cannot always provide a reliable separation, especially when firing at a minimum distance, characterized by high aerodynamic resistance of the HP.

The main calculated part of the pneumatic mechanisms of separation is a cylinder with a piston making one-sided straight-line displacement under pressure of compressed air supplied at the right moment. Pneumatic separation mechanisms do not bind the head and rocket parts, attaching only to the last. Therefore, in order to connect the head and rocket parts, it is necessary to calculate special assemblies in the form of pneumatic or pyro-locks, ensuring their strong connection.

A feature of modeling the processes of separation of volley fire shells is the separation of head part in dense layers of the atmosphere at high supersonic speeds, generating powerful aerodynamic effects. Therefore, as the energy

sources used in the separable rocket projectiles for various purposes, in the modeling uses charges with granulated powders of the SGP brand, which form powerful force effects in the separation process.

One of the main tasks for developers is the creation of mechanisms for opening the HP, which meet the requirements of the technical specification (in terms of speed and separation time, overloads) with a significant reduction in the actual loads. This is especially important for the development of head part with combat elements that are sensitive to shock type loads.

One of the ways to solve this problem is the use of powder pressure accumulators (PPA), to which, taking into account the characteristic features of the functioning of the HP on the trajectory, the following operational requirements are imposed:

- a relatively high level of consumption characteristics ( $G = 3 - 10 \text{ kg / s}$ ) with low mass-dimensional characteristics;

- small operation time ( $\tau \leq 0.1 \text{ s}$ );

- high sensitivity of the PPA charge to thermal effects, ensuring reliable operation of the PPA at low pressure levels ( $P = 2.5 - 4 \text{ MPa}$ ) and short times of thermal exposure ( $\tau = 0.01 - 0.05 \text{ s}$ ) in the working zones of the cassette.

To solve this problem have been carried out the design and development of a small-size PPA, based on proof of the fundamental capabilities and practical utility of use in separable cassette armament. During the development of PPA were studied issues related to the choice of the brand of fuel and fixing the charge in the working chamber. To select a fuel brand were analyzed the fuels characteristics, the use of which in the considered structure is responsible in varying degrees, the requirements put forward above, namely:

Table 2.

Comparative characteristics of the elements of fixation the separation mechanisms of HP

The elements of fixation the separation mechanisms	Effort unlocking element, $N_p, H$	The area of pressure at the unlocking of the element, $S_n, M2$	Pressure unlocking element, $P_\phi = \frac{N_p}{S_\Pi}$ МПа	The ratio of the maximum unlocking pressure to the minimum $\eta = \frac{P_\phi^{max}}{P_\phi^{min}}$
The thread on the HP housing	138488-359792 12557-30920	0,0346 0,00985	4,08-10,6 1,35-3,2	2,6 2,5
Groove in the case of HP	86966- 193257	0,00985	9,0-20,0	2,2
Explosive bolts	125293-168654 76371 -97963	0,0640 0,0346	2,0 - 2,69 2,25-2,89	1,3 1,3
Fixing elements "rusk"	37082-42183	0,0414	0,91 - 1,04	1,1
roll up and rolling	13440-24133 25604-53955	0,00255 0,02834	5,37 - 9,65 0,92- 1,94	1,8 2,1
Shear screws	18835-32962	0,0177	1,08- 1,9	1,8

- high nitrogen pyroxylin powder PVA;
- nitroglycerin low-gradient powder VBS-MG;
- high-nitrogen pyroxylin powder, working at low pressure RPM-2;
- nitroglycerin new composition of increased strength BMS-13, APS-29-10;

As a result of the analysis using the criterion of economic efficiency (cost), it was concluded that the most preferred for use in the PPA are the compounds of the brand VBS-MG G and PVA. Considering that the hygroscopicity of PVA significantly exceeds the hygroscopicity of VBS-MG, the last was recommended for use in the construction of the PPA.

As for the charge attachment unit in the PPA case, in practice used mainly two types of attachment points. In the case of using supplementary charges, supporting diaphragms are used, and the “brush” type of attachment serves to hold the powder elements in a special front attachment point.

An indicator of the effectiveness of one kind of type or another of attachment point is the reduced single charge impulse that takes into account the mass of the attachment point. In this case, it is desirable that the maximum pressure in the loading chamber and the ejection of the thin charge should be minimal. It should also be noted that the use of the classical variant (bearing diaphragm) is advisable for systems with relatively low power overloads ( $n < 300$  units), which ensure the absence of a significant emission of a multi-stage thin-charge charge. It is not possible to completely eliminate charge ejection when using a diaphragm, which is associated with a significant gas-dynamic pressure drop leading to the removal of charge residues (4-7%) through diaphragm slots.

As a result, the construction of a powder accumulator has been developed with an igniter device, reflecting the conditions for switching PPS in the cassette warhead. The PPS is a cylindrical single-nozzle chamber with a nineteen-piece

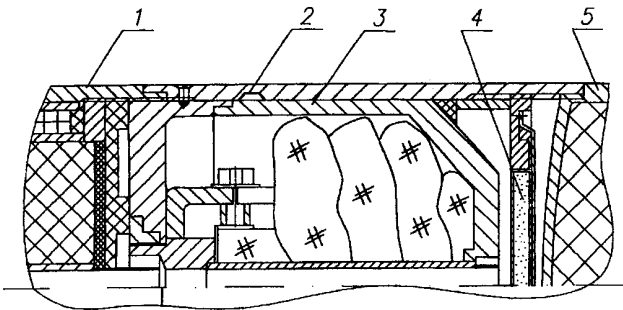


Fig. 2 – Constructive scheme of the separation compartment with a forcing node in the form of a weakened section - groove: 1 - HP case, 2 - groove, 3 - software, 4 - B3, 5 – RD case

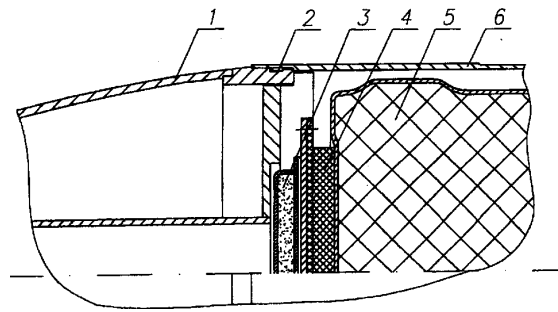


Fig. 3 - Fragment of the front separation compartment with a forcing node in the form of a threaded joint: 1 - fairing, 2 - forcing node, 3 - powder charge, 4 - compensator, 5 - CE, 6 - HP shell of "soft" combat elements.

charge from VBS-MG and an igniter charge activated by the throttle channel in the front wall of the PPS.

As a result of the research, the possibility of creating small-sized PPS for separating the head part, ensuring the stability and «softness» of the separation process at high charge parameters, has been theoretically substantiated and experimentally confirmed. It is most preferable to use pressure accumulators based on thin-walled fuel elements, which allow, under conditions of a sharp increase in the working volume of the head part, to carry out effective acceleration of the cassette due to the wide developed burning surface and high charging density.

#### Fixation elements of separated parts

The following structural elements are most widely used as fixing elements for separating parts in the mechanism of detachment and opening projectiles: thread on the HP, groove in the HP, bursting bolts and fixation elements – «rusk». Comparative characteristics of the fixation elements of the separating parts of the MLRS projectiles are shown in Table 2.

The execution of the forcing node in the form of a groove on the HP case (Fig. 2) or several threads on the fairing (Fig. 3) are the most convenient and technologically

advanced, but they have a serious disadvantage associated with large values of uncoupling efforts and the spread of their values (the maximum value of the boost pressure to the minimum is  $\eta = 2.2 - 2.6$ ). An attempt to reduce the value of the forcing of the thread cut-off through the use of the so-called «slanting» bottom and milling part of the thread did not give a positive effect: the coefficient  $\eta$  decreased from 2.6 to 2.5. In addition, in some cases there is not a cut of coils, but a premature «opening» of the thread.

Using the groove as an element of fixation in the case of the CCU also creates the hard work of the structure. So, for example, in one of the standard products, where a groove with thickness  $\delta = 0.7-0.15$  mm is used, the unlocking pressure is 9.0–20 MPa, and the realized experimental pressures reach 19.6–26.14 MPa.

Therefore, as a fixing unit in the separation mechanism, it is advisable to use explosive bolts, the number of which determines the required level of force loading during separation (Fig. 4). The ratio of the maximum release pressure to the minimum in this case does not exceed 1.3 and, in the course of the operation of the product, quite gentle loads on the construction elements are realized (the overload on the CA does not exceed 194-236 units). However, the use of explosive bolts as a fixation unit of the separation mechanism also has a significant drawback. One of the important

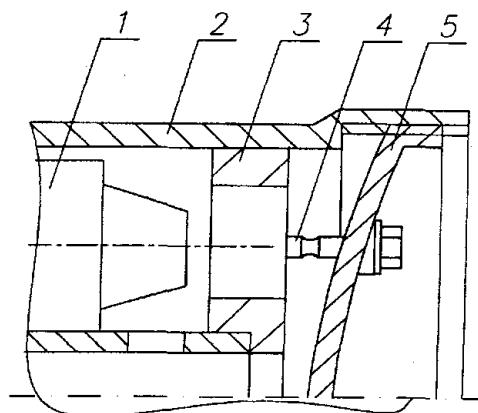


Fig. 4 - Fragment of the tail compartment of separation with a forcing unit in the form of explosive bolts with weakened sections - necks: 1 - CE, 2 - case of the HP, 3 - cassette, 4 - explosive bolt, 5 - the bottom

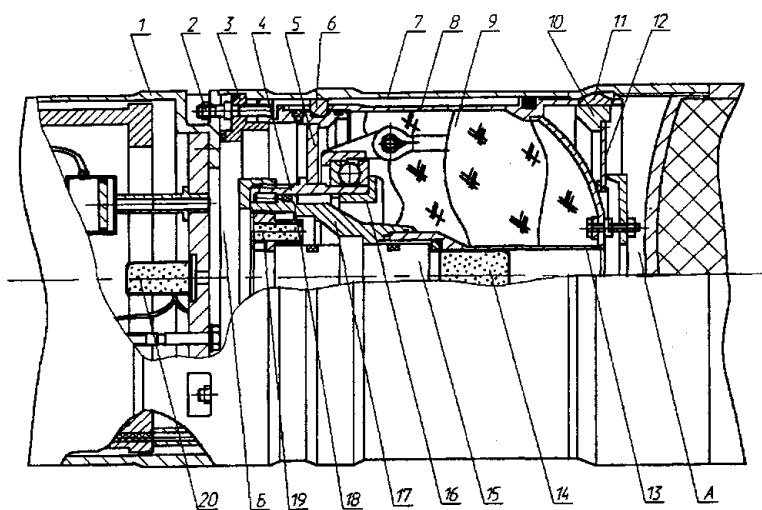


Fig. 5 - Fragment of a divided rocket projectile with a compartment of separation and opening

factors determining their performance is the aerodynamic heating of the projectile during the flight along the trajectory. This is due to the uneven thermal loading of various construction elements of the projectile when interacting with the oncoming air flow and, as a result, with the appearance of power loads due to the different elongation of the case and the CCU container rigidly interconnected by means of boost elements. That is, due to the heterogeneity of temperature loading of construction elements, critical parameters of force loading of boost elements may occur, leading to premature opening of the projectile on the trajectory.

The unstable operation of explosive bolts and the use of increased accuracy (self-targeting and self-guiding) in the separable projectiles of the new generation, operating at overloads of no more than 100 units, required the development of new elements for fixing the mechanism of separation and opening. Therefore, a special fixation mechanism was proposed to ensure the separation of ammunition with minimal power loads on the construction elements of projectile. As fixation elements, it uses loose-fitting elements – “rusk” [10].

In Fig. 5 presented a fragment of a separating projectile with a detachable head part 1 equipped with a parachute compartment 9 and mechanisms of fixation, separation, opening.

The parachute compartment, made in the form of a casing 8 with a bottom 5, is fixed in the case of the HP 7 by means of two annular rows of segment elements 11, 6 and studs 2, which tighten the software casing with the case of the HP through the support ring 3.

The separation mechanism is located in the tail part of the software and includes a charge of the separation 14, a membrane 12 with an annular stop 10 placed in the cavity of the compartment A.

The opening mechanism is rigidly fixed in the bottom of the software 5 and is made in the form of a cylinder 4 with a piston 17, equipped with annular stops 16 and 18 that interact with each other. At the same time, the piston

of the opening mechanism is equipped with a powder opening charge 19 and a hollow pusher 13 abutting the software case.

At the same time, an accumulating cavity B is made between the wells of the software and the HP, powered by the products of the autopsy charge and gas-dynamically connected to the executive bodies of the HP 20 (powder charges, explosive devices, control means, etc.). In turn, the separation and opening charges are gas-dynamically connected to the initiating temporary device located in the piston and made, for example, in the form of a two-channel SEM's 15.

The process of separation of the RP begins with the setting of the initiating pulse to the charge of the separation, the combustion products of which fill the separation cavity and, at a pressure of 0.3-0.5 MPa, move the membrane with the ring stop towards the HP. Under the action of axial force, the fixation elements 11 are released from the engagement and release the software from the HP case. Due to the pressure on the casing, the parachute compartment together with the head part is shot out of the case. In the process of shooting the fixing elements 6 come out of the shell and release the casing from fastening with the bottom 5.

After separation of the HP from the RP (rocket part), the head part makes an unstabilized flight and, due to the chaotic motion, reduces the speed of movement along the trajectory to the required value. Then, at a given flight time, the second channel of the SEM's is triggered and gives out an initiating impulse to the opening charge 19. The products of charge combustion fill the accumulating cavity and begin to act on the piston 17, which through the pusher 13 transmits the force to the walls of the casing 8.

The piston begins to move along the axis of the cylinder and through the pusher to move the shank of the casing along the guide section of the bottom of the software 5. Then the piston is fixed in the cylinder, blocking the penetration of hot products of combustion of the autopsy charge into the remaining non-working cavities, and most importantly, into the cavity of the parachute compartment. Thus, sealing of

the accumulating zone (performing the functions of a powder accumulator of pressure) is carried out, as well as the burning of the parachute fabric and the ingress of moving elements (piston with a pusher) into the parachute canopy when it is put into operation.

After entering the parachute into the incoming air flow, braking and stabilized descent of the head part to the target area are carried out. At the same time, in the process of putting the parachute into action due to the actuation of the opening charge, filling the accumulating zone with the given parameters and the presence of gas-dynamic connections (channels or gas ducts with of HP the required cross-sectional area), the required levels of power and heat impulses are supplied and reliable activation of the HP executives.

The mechanisms of separation and opening can be supplied with auxiliary and executive elements, distinguishing for the PPC with cluster head parts. Auxiliary elements include elements that provide radial spread and dilution of the trajectories of combat elements and separable parts of the HP. The executive elements of the separation mechanisms include, as a rule, movable stops, retarding devices of the type 9X59 (URO) and heat receivers of the explosion devices, which ensure the removal of the ED protection stage.

Thus, the implementation of the above approaches for the working off of constructive solutions allows developing a rational construction of the separation system of ammunition, providing reliable separation and opening of the HP in conditions of unstabilized flight at high speeds at the point of separation, as well as reliable operation of the executive bodies of the HP.

The above overview of the general information of modeling order of gas-liquid systems of rocket projectile separation is shown in expanded form in [1]. The considered models and principles of modeling formed the basis of the software package of machine analysis of thermal mechanical systems "MATMECH", which allows to modeling the functioning of the separating projectiles of a wide class of constructive schemes and provides calculated support for the process of their design and experimental working off.

#### LIST OF USED SOURCES

1. B.E. Kert, V.I. Kozlov, N.I. Makarovets. Mathematical modeling and experimental working off of projectiles separation systems. – Tula: Publishing house "Grief and K", 2006 – 652 p.

2. B.E. Kert. Difference methods for solving some non-stationary internal conjugate problems of convective heat transfer. – Diss. Ph.D., L: LSU, 1981. – 242 p.
3. B.E. Kert. Mathematical modeling of the dynamics and ballistics of gas-liquid thermal mechanical systems of rocket-artillery equipment. Part 1. Models with lumped parameters. – SPb.: BSTU, 2001 – 186 p.
4. A.M. Lipanov. On a problem-oriented program complex in the study of processes in gas generators. – Reports of the Academy of Sciences of the USSR, 1987, 293, N 1, 33-36 p.
5. E.A. Kozlov. Modeling of intracameral processes in solid fuel rocket engines, including unconventional schemes. // In the book: Collection of reports of the scientific conference of the Volga regional center of the "Modern methods of designing and working off rocket and artillery armament". – Sarov: – 2000, 97-106 p.
6. V.V. Zharovtsev, L.V. Komarovskiy. Internal ballistics of installations with non-uniform generator of powder gases. // In the book: International conference on intra-chamber processes and combustion "Problems of conversion and ecology of energetic materials" (ICOS96), Russia, St. Petersburg, June 3-7, 1996, Part 2, – Izhevsk, 1997, 283-289 p.
7. I.G. Rusyak, V.M. Ushakov. Intra-chamber heterogeneous processes in trunks systems. – Ekaterinburg: UBRO RAS, 2001, 259 p.
8. Calculation and design of energy units of armament complexes. 4.1. Thermogasdynamics of energy units with a variable mass of the working body: Monograph / A.G.Shipunov, Yu.S. Shvykin, N.P.Yurmanova. – Tula: Tul. state University, 1997 – 116 p.
9. D.H. Spark. Gas-dynamic calculation of the automatic rifle reloading mechanism. – Applied mechanics. – M.: Mir. 39, N1, 1979
10. Patent RU 2231016 C1, МПК 7 F 42 B 15/36, 10/56. Separated head part. / G.A.Denezhkin, G.V. Kalyuzhny, V.I. Kozlov and others (RF). – N 2003107381/02. Announced 17.03.03. Publ. 06.20.04. Bul. N 17.

Стаття надійшла до редколегії 01.10.2018 р.

**Рецензент С.В. Лапицький**, д-р техн. наук, професор (Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)  
<https://orcid.org/0000-0003-2645-0256>

УДК 629.733.33.015.017.2

DOI: [https://doi.org/10.34169/2414-0651.2019.1\(21\).54-58](https://doi.org/10.34169/2414-0651.2019.1(21).54-58)

**В.А. СМЕРНОВ**, кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник,

(Центральный научно-исследовательский  
институт вооружения и военной техники  
Вооруженных Сил Украины, г. Киев)

## Методические аспекты оценки эффективности активных систем ограничения предельных режимов полета самолетов при математическом моделировании и в летных испытаниях

*В системе мероприятий по обеспечению безопасности полетов и повышению боевых возможностей современных летательных аппаратов важное значение придается оснащению их соответствующими техническими устройствами. Настоящая статья посвящена анализу применения на самолетах активных систем ограничения предельных режимов полета, предназначенных для предотвращения выхода самолета за допустимые значения угла атаки (перегрузки) при его боевом применении. В работе приведена математическая модель движения самолета с работающим активным автоматом ограничения предельных режимов полета, которая позволяет осуществлять предварительную оценку поведения самолета с работающим ограничителем на различных режимах полета, влияние изменений в пределах эксплуатационных допусков параметров автомата, центровки самолета и т. д. Изложены методические подходы оценки активных автоматов ограничения предельных режимов полета в летных испытаниях.*

*У системі заходів щодо забезпечення безпеки польотів і підвищення бойових можливостей сучасних літальних апаратів важливе значення надається оснащенню їх відповідними технічними пристроями. Дана стаття присвячена аналізу застосування на літаках активних систем обмеження граничних режимів польоту, призначених для запобігання виходу літака за припустимі значення кута атаки (перевантаження) при його бойовому застосуванні. У роботі приведена математична модель руху літака із працюючим активним автоматом обмеження граничних режимів польоту, яка дозволяє здійснювати попередню оцінку поведінки літака із працюючим обмежувачем на різних режимах польоту, вплив змін у межах експлуатаційних допусків параметрів автомата, центрування літака і т.д. Викладені методичні підходи оцінки активних автоматів обмеження граничних режимів польоту в льотних випробуваннях*

Степень реализации заложенных в летательный аппарат боевых возможностей во многом зависит от полноты использования его маневренных свойств, которые, в свою очередь, могут быть реализованы только при пилотировании вблизи ограничений по углу атаки и перегрузке. Объем летных ограничений указанных параметров, связанных с режимом полета, конфигурацией самолета, наличием подвесного вооружения и т. д., достаточно велик. Необходимость постоянного визуального контроля летчиком по индикатору за их текущими значениями в процессе пилотирования затрудняет выполнение им боевой задачи и не позволяет в полной мере использовать маневренные возможности самолета, в том числе из-за вынужденного (чтобы не превысить ограничение) уменьшения темпа выхода на допустимые значения угла атаки и перегрузки. Все это обуславливает необходимость оборудования современных самолетов активными автоматами ограничения предельных режимов полета (АОПР), предназначенными для предотвращения вывода самолета за допустимые значения угла атаки и перегрузки. Такие автоматы позволяют летчику сосредоточить основное внимание на выполнение операций, связанных с решением задач по боевому применению, не отвлекаясь на визуальный контроль угла атаки и перегрузки.

Выбор структуры закона работы АОПР, настройки параметров автомата осуществляется методами математического и полунатурного моделирования на пилотажных стендах. На этих этапах осуществляется предварительная оценка поведения самолета с работающим АОПР на различных режимах полета, влияние изменений в пределах эксплуатационных допусков настройки параметров автомата на безопасное выполнение задач пилотирования и т. д. Окончательная оценка эффективности АОПР производится на этапе летных испытаний.

Целью работы является изучение существующих зарубежных и отечественных автоматов ограничения предельных режимов полета самолетов, разработка математической модели, описывающей движение самолета с работающим АОПР и позволяющей осуществлять выбор рациональных параметров ограничителя, а также разработка методических подходов оценки в летных испытаниях автоматов ограничения предельных режимов полета самолетов.

### 1. Математическое моделирование движения самолета с работающим активным автоматом ограничения предельных режимов полета

Для моделирования движения самолета с работающим АОПР может быть использована математическая модель, разработанная автором [1].

Наиболее распространенный закон работы АОПР (где управляемым параметром является угол атаки), как показал анализ существующих отечественных и зарубежных ограничительных систем [2–6], имеет вид:

$$\alpha_{cp} = \alpha_{cm} - \kappa_{\alpha} \dot{\alpha} \quad (1)$$

где  $\alpha_{cp}$  – значение угла атаки, при котором должен сработать АОПР;

$\alpha_{cm}$  – статический угол настройки ограничителя. Как правило, он равен допустимому углу атаки  $\alpha_{don}$ ;

$\kappa_a$  – коэффициент упреждения;

$\dot{\alpha}$  – скорость изменения угла атаки.

Упреждающий член  $\kappa_a \dot{\alpha}$  обеспечивает более раннее срабатывание АОПР при энергичном пилотировании с целью уменьшения заброса угла атаки в переходном процессе после срабатывания ограничителя.

В момент срабатывания АОПР гидроцилиндр, установленный в продольном канале системы управления, либо отталкивает ручку управления (и стабилизатор) в направлении «от себя» с некоторым усилием в определенное положение («упор»), соответствующее балансировке самолета на углах атаки меньших допустимого, либо фиксирует ее в положении, соответствующем моменту срабатывания ограничителя. Значение положения «упора» выбирается таким, чтобы была обеспечена величина управляющего момента на пикирование, достаточная для увода самолета на безопасные режимы полета по углу атаки. Толкающее воздействие на ручку управления снимается на безопасном, меньшем по величине угле атаки, после чего летчик может вновь отклонять ручку управления самолетом (РУС) в продольном канале «на себя».

Предположим, что летчик отклоняет стабилизатор взятием ручки управления «на себя» по линейному закону. Тогда возможные схемы совместного управления самолетом летчиком и АОПР могут быть представлены в виде, изображенном на рис. 1 [1, 2].

Обозначения на рис. 1 означают:

$\varphi_{бал}$  – балансировочное отклонение стабилизатора, соответствующее исходному режиму полета;

$\varphi^*$  – положение, в которое отталкивается стабилизатор при срабатывании АОПР (промежуточный «упор»);

$\varphi_{макс}$  – максимальное отклонение стабилизатора на кабрирование (механический упор);

$T$  – текущее время в момент срабатывания стабилизатора;

$T_0$  – текущее время достижения стабилизатором положения  $\varphi_{макс}$ .

Схемы *a* и *б* соответствуют АОПР с отталкиванием РУС после срабатывания ограничителя, схема *в* – с фиксацией ручки. Выход стабилизатора на механический упор (схема *б*) возможен при пилотировании на малых скоростях и больших высотах.

Закон изменения угла атаки самолета при отклонении стабилизатора по схеме *a*, приведенной на рис. 1, имеет следующий вид [1, 2]:

$$\Delta\alpha(t) = \frac{n_\varphi(\varphi^* - \varphi_{бал})}{\Omega_\alpha^2} + e^{-n_\alpha t} (R \sin \omega_\alpha t + S \cos \omega_\alpha t), \quad (2)$$

где

$$R = \frac{e^{n_\alpha T} \cos \omega_\alpha T}{\omega_\alpha} \left\{ \Delta\dot{\alpha}_0 + \left[ \Delta\alpha_0 - \frac{n_\varphi(\varphi^* - \varphi_{бал})}{\Omega_\alpha^2} \right] \left[ n_\alpha + \omega_\alpha \tan \omega_\alpha T \right] \right\} \quad (3)$$

$$S = e^{n_\alpha T} \left\{ \left[ \Delta\alpha_0 - \frac{n_\varphi(\varphi^* - \varphi_{бал})}{\Omega_\alpha^2} \right] \left[ \cos \omega_\alpha T - \frac{n_\alpha}{\omega_\alpha} \sin \omega_\alpha T \right] - \frac{\Delta\dot{\alpha}_0}{\omega_\alpha} \sin \omega_\alpha T \right\}; \quad (4)$$

$$n_\alpha = \frac{1}{2} (\bar{Y}_a^\alpha - \bar{M}_z^{\omega_z} - \bar{M}_z^\alpha);$$

$$\Omega_\alpha^2 = -(\bar{M}_z^\alpha - \bar{Y}_a^\alpha \bar{M}_z^{\omega_z});$$

$$\omega_\alpha = \sqrt{\Omega_\alpha^2 - n_\alpha^2};$$

$$n_y^\alpha = \frac{c_y^\alpha}{c_{yазн}}; \quad \bar{Y}_a^\alpha = \frac{Y_a^\alpha}{mV} = \frac{g}{V} n_y^\alpha; \quad n_\varphi = M_z^\varphi / I_z = \bar{M}_z^\varphi;$$

$$\bar{M}_z^i = \frac{M_z^i}{I_z}.$$

$\Delta\alpha_0$  и  $\Delta\dot{\alpha}_0$  определяются при  $t = T$  по формулам:

$$\Delta\alpha(t) = \frac{n_\varphi \dot{\varphi}}{\Omega_\alpha^4} \left[ \Omega_\alpha^2 t - 2n_\alpha + 2n_\alpha e^{-n_\alpha t} \cos \omega_\alpha t + \frac{2n_\alpha^2 - \Omega_\alpha^2}{\omega_\alpha} e^{-n_\alpha t} \sin \omega_\alpha t \right]; \quad (5)$$

$$\Delta\dot{\alpha}(t) = \frac{n_\varphi \dot{\varphi}}{\Omega_\alpha^2} \left[ 1 - e^{-n_\alpha t} \cos \omega_\alpha t - \frac{n_\alpha}{\omega_\alpha} e^{-n_\alpha t} \sin \omega_\alpha t \right]. \quad (6)$$

Время достижения максимального значения угла атаки  $t_{макс}$  определяется выражением:

$$t_{макс} = \frac{1}{\omega_\alpha} (\arctg \frac{R\omega_\alpha - S n_\alpha}{R n_\alpha + S \omega_\alpha} + \pi l) \quad (7)$$

где  $l = 0, 1, 2, \dots$ . Значение  $l$  определяется из условия  $t_{макс} > T$ .

Максимальное значение угла атаки определяется по формуле (2) при условии  $t = t_{макс}$ .

Для схемы *б* закон изменения угла атаки по времени будет иметь следующий вид:

$$\Delta\alpha(t) = \frac{n_\varphi(\varphi^* - \varphi_{бал})}{\Omega_\alpha^2} + e^{-n_\alpha t} (P^* \sin \omega_\alpha t + Q^* \cos \omega_\alpha t), \quad (8)$$

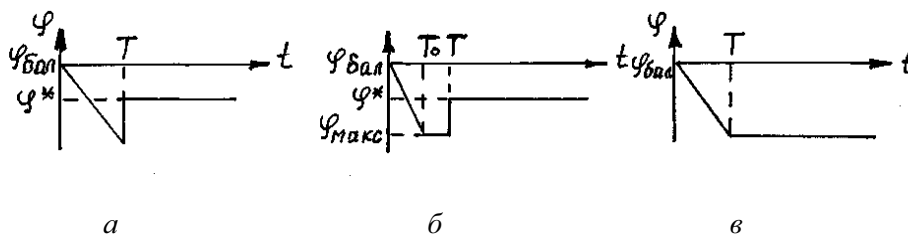


Рис. 1 Схемы совместного управления самолетом летчиком и АОПР

$$\text{где } P^* = \frac{e^{n_\alpha T} \cos \omega_\alpha T}{\omega_\alpha} \left\{ \Delta \dot{\alpha}_0^* + \left[ \Delta \alpha_0^* - \frac{n_\phi (\varphi^* - \varphi_{\text{бал}})}{\Omega_\alpha^2} \right] [n_\alpha + \omega_\alpha \operatorname{tg} \omega_\alpha T] \right\}; \quad (9)$$

$$Q^* = e^{n_\alpha T} \left\{ \left[ \Delta \alpha_0^* - \frac{n_\phi (\varphi^* - \varphi_{\text{бал}})}{\Omega_\alpha^2} \right] \left[ \cos \omega_\alpha T - \frac{n_\alpha}{\omega_\alpha} \sin \omega_\alpha T \right] - \frac{\Delta \dot{\alpha}_0^*}{\omega_\alpha} \sin \omega_\alpha T \right\}; \quad (10)$$

$$\Delta \alpha_0^* = \frac{n_\phi (\varphi_{\text{макс}} - \varphi_{\text{бал}})}{\Omega_\alpha^2} + e^{-n_\alpha T} (P_0 \sin \omega_\alpha T + Q_0 \cos \omega_\alpha T); \quad (11)$$

$$\Delta \dot{\alpha}_0^* = e^{-n_\alpha T} \left[ \omega_\alpha (P_0 \cos \omega_\alpha T - Q_0 \sin \omega_\alpha T) - n_\alpha (P_0 \sin \omega_\alpha T + Q_0 \cos \omega_\alpha T) \right]; \quad (12)$$

$$P_0 = \frac{e^{n_\alpha T_0} \cos \omega_\alpha T_0}{\omega_\alpha} \left\{ \Delta \dot{\alpha}_0 + \left[ \Delta \alpha_0 - \frac{n_\phi (\varphi_{\text{макс}} - \varphi_{\text{бал}})}{\Omega_\alpha^2} \right] [n_\alpha + \omega_\alpha \operatorname{tg} \omega_\alpha T_0] \right\}; \quad (13)$$

$$Q_0 = e^{n_\alpha T_0} \left\{ \left[ \Delta \alpha_0 - \frac{n_\phi (\varphi_{\text{макс}} - \varphi_{\text{бал}})}{\Omega_\alpha^2} \right] \left[ \cos \omega_\alpha T_0 - \frac{n_\alpha}{\omega_\alpha} \sin \omega_\alpha T_0 \right] - \frac{\Delta \dot{\alpha}_0}{\omega_\alpha} \sin \omega_\alpha T_0 \right\}; \quad (14)$$

$$T_0 = \frac{\varphi_{\text{макс}} - \varphi_{\text{бал}}}{\dot{\varphi}};$$

$\Delta \alpha_0$  определяется по формуле (5) при  $t = T_0$ ;

$\Delta \dot{\alpha}_0$  определяется по формуле (6) при  $t = T_0$ .

Время достижения углом атаки своего максимально-го значения равно

$$t_{\text{макс}} = \frac{1}{\omega_\alpha} (\arctg \frac{P^* \omega_\alpha - Q^* n_\alpha}{P^* n_\alpha + Q^* \omega_\alpha} + \pi), \quad (15)$$

где  $l = 0, 1, 2, \dots$  определяется из условия  $t_{\text{макс}} > T_0$ .

Скорость изменения угла атаки в момент срабатывания АОПР определяется по формуле (12):  $\Delta \dot{\alpha}(T) = \Delta \dot{\alpha}_0^*$ .

Закон изменения угла атаки по времени для схемы в записывается следующим образом:

$$\Delta \alpha(t) = \frac{n_\phi \dot{\varphi} T}{\Omega_\alpha^2} + e^{-n_\alpha t} (P \sin \omega_\alpha t + Q \cos \omega_\alpha t) \quad (16)$$

$$\text{где } P = \frac{e^{n_\alpha T} \cos \omega_\alpha T}{\omega_\alpha} \left\{ \Delta \dot{\alpha}_0 + \left[ \Delta \alpha_0 - \frac{n_\phi \dot{\varphi} T}{\Omega_\alpha^2} \right] [n_\alpha + \omega_\alpha \operatorname{tg} \omega_\alpha T] \right\}; \quad (17)$$

$$Q = e^{n_\alpha T} \left[ \left( \Delta \alpha_0 - \frac{n_\phi \dot{\varphi} T}{\Omega_\alpha^2} \right) (\cos \omega_\alpha T - \frac{n_\alpha}{\omega_\alpha} \sin \omega_\alpha T) - \frac{\Delta \dot{\alpha}_0}{\omega_\alpha} \sin \omega_\alpha T \right]; \quad (18)$$

$\Delta \alpha_0$  и  $\Delta \dot{\alpha}_0$  определяются по формулам (5) и (6) соответственно.

Время  $t_{\text{макс}}$  определяется по формуле

$$t_{\text{макс}} = \frac{1}{\omega_\alpha} (\arctg \frac{P \omega_\alpha - Q n_\alpha}{P n_\alpha + Q \omega_\alpha} + \pi), \quad (19)$$

где  $l = 0, 1, 2, \dots$  определяется из условия  $t_{\text{макс}} > T$ .

Математическая модель работы АОПР по схеме в впервые была разработана А. Г. Чумаком. Как видно из приведенных выражений, она может быть легко получена из математической модели схемы а, при условии замены в формулах (2)–(4) управляющего воздействия на участке  $t > T$ : вместо выражения  $(\varphi^* - \varphi_{\text{бал}})$  необходимо подставить  $\dot{\varphi} T$ .

Значение угла атаки в момент срабатывания АОПР равно

$$\alpha_{cp} = \alpha_{нач} + \Delta \alpha_{cp}, \quad (20)$$

где  $\alpha_{нач}$  – значение угла атаки на исходном режиме полета;

$\Delta \alpha_{cp}$  – отклонение угла атаки от его значения на исходном режиме полета.

С учетом (20) формула (1) запишется в виде

$$\Delta \alpha_{cp} = \alpha_{cm} - \alpha_{нач} - \kappa_\alpha \dot{\alpha}. \quad (21)$$

В случае  $\kappa_\alpha = const$  уравнение (21) решается методом последовательных приближений по  $T$  при фиксированном значении  $\dot{\varphi}$  с заданной точностью  $\varepsilon$ :

$$|\Delta \alpha_{cp} - (\alpha_{cm} - \alpha_{нач} - \kappa_\alpha \dot{\alpha})| < \varepsilon. \quad (22)$$

В выражении (22)  $\Delta \alpha_{cp}$  определяется по формулам (2), (8) или (16), а  $\dot{\alpha}$  – по формулам (6) (схемы а и в) или (12) при  $t = T$ .

После определения  $T$  из условия (22) далее по формулам (7), (15) или (19) получаем  $t_{\text{макс}}$  и  $\Delta \alpha(t_{\text{макс}}) = \Delta \alpha_{\text{макс}}$ .

Оценка эффективности АОПР определяется в результате анализа зависимости  $\alpha_{\text{макс}} = f(\dot{\alpha})$  (рис.2).

Результаты исследований показали, что в рамках рассмотренного закона работы АОПР (1) и постоянных значениях параметров его настройки (угла статической настройки  $\alpha_{cm}$ , коэффициента упреждения  $\kappa_\alpha$  и фиксированного значения угла отталкивания стабилизатора  $\varphi^*$ ), не предотвращается выход самолета за допустимое значение угла атаки в процессе заброса после срабатывания ограничителя [7]. Вследствие слабого демпфирования наибольшего значения забросы угла атаки достигают при пилотировании вблизи минимально допустимой приборной скорости.

При плавном пилотировании (малых темпах увеличения угла атаки) в основной эксплуатационной области режимов полетов заброс угла атаки в переходном процессе после срабатывания АОПР не превосходит угла его статической настройки (рис. 2), а при энергичном пилотировании (больших и средних значениях  $\dot{\alpha}$ )  $\alpha_{\text{макс}} > \alpha_{\text{доп}}$ , т. е. при средних и больших темпах увеличения угла атаки автомат не предотвращает выхода не только на углы атаки большие допустимого, но даже и углы атаки сваливания. Однако при координированном пилотировании даже кратковременное превышение самолетом углов атаки сваливания в процессе заброса после срабатывания ограничителя не приводит к развитию сваливания (вследствие кратковременности пребывания самолета на этих углах атаки не успевает развиваться в достаточной степени отрыв потока с поверхности крыла).



Учитывая такие особенности поведения самолета, требуется обязательная оценка эффективности АОПР в летных испытаниях, причем с обязательной имитацией всех возможных маневров самолета на больших углах атаки в сочетании с боковым движением при различной настройке параметров АОПР с учетом неблагоприятного сочетания их настройки, эксплуатационного изменения центровки, вариантов подвески вооружения и ошибок измерения угла атаки.

## **2. Оценка эффективности активных автоматов ограничения предельных режимов полета в летных испытаниях**

В процессе испытаний по оценке эффективности активных автоматов ограничения предельных режимов полета возможен выход самолета на режимы сваливания и попадания в штопор. Поэтому до начала испытаний летчики-испытатели должны выполнить ознакомительные полеты на сваливание и штопор на самолете с отключенным ограничителем, либо, если такой возможности нет, то на самолете с характеристиками сваливания и штопора, близкими к испытываемому.

Поскольку при попадании самолета в штопор не исключена возможность самовыключения двигателя, летчикам необходимо детально изучить и отработать порядок действий на случай, если заглохнет двигатель (порядок запуска двигателя в воздухе и захода на посадку с выключенным двигателем).

В процессе испытаний должна быть выполнена оценка характеристик самолета как с номинальными, так и с максимальными (минимальными) в пределах эксплуатационных допусков значениями параметров настройки угла статической настройки и коэффициента упреждения АОПР, а также значениями настройки положения стабилизатора, в которое он отталивается при срабатывании ограничителя.

Поскольку для реализации заложенного в АОПР закона срабатывания вычислительно необходимо некоторое время, в летные испытания закладывается выполнение режимов (маневров) по оценке работоспособности (точнее, своевременности срабатывания) и эффективности автомата при пилотировании самолета вблизи угла статической настройки АОПР с выходом на его срабатывание.

Должна быть выполнена оценка влияния скольжения на измерение угла атаки, работу селектора каналов измерения угла атаки и эффективность АОПР. Это необходимо делать в том числе и потому, что не на всех самолетах устанавливаются датчики углов атаки с обеих сторон фюзеляжа.

Оценка эффективности АОПР и проверка правильности настройки его параметров (угла статической настройки  $\alpha_{ст}$ , коэффициента упреждения  $k_a$  и фиксированного значения угла отталивания стабилизатора  $\varphi^*$ ) осуществляется в летных испытаниях путем выполнения дач ручки управления по тангажу «на себя» с разным темпом увеличения угла атаки (плавным и резким) до срабатывания АОПР из режима исходного

прямолинейного горизонтального полета. Проверка эффективности АОПР должна осуществляться также не только при выполнении координированных (без скольжения) маневров, но и некоординированных (имитирующих возможные ошибки летчика при пилотировании), связанных как с предварительно созданным скольжением, так и со скольжением, создаваемым в процессе увеличения угла атаки (наряду со взятием ручки управления по тангажу «на себя» отклоняются также органы поперечного или путевого управления или оба одновременно).

В конце летных испытаний должны быть выполнены контрольные испытательные маневры при выявленном по результатам испытаний наиболее неблагоприятном сочетании параметров настройки АОПР, центровки, вариантов подвесок вооружения и режиме полета.

Кроме того, по окончании основной программы испытаний выполняются полеты с использованием элементов сложного и высшего пилотажа и выходом на углы срабатывания (в том числе и по границе срабатывания) АОПР. В процессе пилотажа осуществляется оценка эффективности АОПР, приемлемость усилий «отталивания» ручки управления при срабатывании автомата (и «пересиливания» ограничителя) и проверка разработанных по результатам основной программы летных испытаний рекомендаций летному составу по пилотированию на больших углах атаки с выходом на срабатывание ограничителя.

## **Выводы:**

1. Математическая модель движения самолета с работающим активным автоматом ограничения предельных режимов полета позволяет осуществлять предварительную оценку поведения самолета с работающим ограничителем на различных режимах полета, влияния изменений в пределах эксплуатационных допусков параметров автомата, центровки самолета и т. д.

2. Изложенная в статье методика оценки эффективности активных автоматов ограничения предельных режимов полета в летных испытаниях помимо оценки достаточности и своевременности вмешательства автомата для предотвращения сваливания, приемлемости создаваемых автоматом усилий для пересиливания управляющих действий летчика и отдачи РУС на уменьшение угла атаки, возможности после вмешательства автомата продолжить выполнение заданного предельного маневра (по границе  $\alpha_{дон}$ ), предусматривает обязательную имитацию всех возможных маневров самолета на больших углах атаки в сочетании с боковым движением при различной настройке параметров АОПР с учетом неблагоприятного сочетания их настройки, эксплуатационного изменения центровки, вариантов подвески вооружения и ошибок измерения угла атаки.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Смирнов В. А. Математическое моделирование работы автомата ограничения предельных режимов полета // Летательные аппараты и авиационные

- двигатели. – Вып. 8. – К.: КВВАИУ, 1990. – С. 73–79.
2. Смирнов В. А., Нерубацкий В. Е. Нормирование и оценка качества пилотажных характеристик самолетов: Монография. – К.: ЦНИИ ВВТ ВСУ, 2013. – 176 с.
  3. Котик М. Г., Филиппов В. В. Полет на предельных режимах. – М.: Воениздат, 1977. – 240 с.
  4. Пашковский И. М. Устойчивость и управляемость самолета. – М.: Машиностроение, 1975. – 328 с.
  5. Дэвис Д. Пилотирование больших реактивных самолетов. – М.: Машиностроение, 1975. – 368 с.
  6. Активные системы управления самолетов. Часть 1. – Обзор ОНТИ ЦАГИ, 1975. – Вып. 479. – 145 с.
  7. Смирнов В. А. Оценка эффективности активных автоматов ограничения предельных режимов полета // Летательные аппараты и авиационные двигатели. – Вып. 14. – К.: КИ ВВС, 1993. – С. 70–74.

Стаття надійшла до редколегії 01.10.2018 р.

**Рецензент В. М. Сенаторов**, к.т.н., доцент  
(Центральний науково-дослідний інститут озброєння  
та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)  
<https://orcid.org/0000-0001-5387-5693>

УДК 623.746-519

DOI: [https://doi.org/10.34169/2414-0651.2019.1\(21\).59-66](https://doi.org/10.34169/2414-0651.2019.1(21).59-66)**В.И. СИЛКОВ,***кандидат технических наук, доцент***А.А. ЖЕВТЮК,** *кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник**(Центральний науково-дослідний інститут  
озброєння та військової техніки Збройних Сил  
України, м. Київ)***Н.М. ВОРОБЬЕВ,** *директор программ АН-БК ГП  
“АНТОНОВ”*

## “Беспилотник” в фугоидном полете

*В статье рассмотрены особенности устойчивости полета беспилотного летательного аппарата (БпЛА) по скорости, обоснованы критерии и границы устойчивого полета, приведены показатели фугоидного движения БпЛА.*

*Устойчивость рассматривалась в двух практически важных режимах полета: в крейсерском полете по заданному маршруту и в свободном движении при невмешательстве оператора в управление.*

*Показаны особенности полета на первых и вторых режимах, обоснованы причины потери устойчивости, разработаны рекомендации по выводу летательного аппарата из критической ситуации на безопасные скорости.*

*Ключевые слова: устойчивость по скорости, длиннопериодическое движение, частота колебаний, степень затухания, сваливание ЛА.*

*У статті розглянуті особливості стійкості польоту безпілотного літального апарата (БпЛА) по швидкості, обґрунтовані критерії й границі стійкого польоту, наведені показники фугоїдного руху БпЛА.*

*Стійкість розглядалася у двох практично важливих режимах польоту: у крейсерському польоті по заданому маршруті й у вільному русі при невтручанні оператора в керування.*

*Показано особливості польоту на перших і других режимах, обґрунтовані причини втрати стійкості, розроблені рекомендації з виводу літального апарата із критичної ситуації на безпечні швидкості.*

### Постановка задачи

Под устойчивостью по скорости понимают способность БпЛА в условиях действия различных возмущений самостоятельно без вмешательства оператора/автомата сохранять заданную скорость полета. Это свойство наиболее востребовано при полете по заданному маршруту на наивыгоднейшем режиме, когда выдерживание постоянной скорости обеспечивает получение наибольшей дальности/продолжительности полета.

Малоустойчивый/неустойчивый по скорости ЛА будет отклоняться от заданной скорости в ту или иную сторону, расход топлива возрастает, дальность/продолжительность полета сокращается.

Иногда необходимость точного выдерживания скорости диктуется другими обстоятельствами: требованиями использования целевой нагрузки, тактикой боевого применения ЛА, метеоусловиями и т. д.

При рассмотрении устойчивости по скорости наибольший интерес представляют два режима полета:

- установившийся прямолинейный горизонтальный полет по заданному маршруту, который выдерживается оператором не только с помощью рычага управления мощностью двигателя, но и с помощью органов управления с целью обеспечения постоянства высоты ( $H = \text{const}$ ), вертикальной скорости ( $V_y = 0$ ), исключения крена ( $\gamma = 0$ ) и скольжения ( $\beta = 0$ );

- свободный полет БпЛА, заданный оператором, без последующего вмешательства в управление.

В обоих случаях ЛА может выходить за пределы установленных ограничений, и возникает необходимость рассмотреть более подробно их физическую сущность и проблемы обеспечения безопасности полета.

Рассмотрим более подробно особенности каждого из этих случаев.

### 1. Особенности устойчивости БпЛА в прямолинейном горизонтальном полете

#### 1.1. Первые и вторые режимы полета

Условием выполнения установившегося (с постоянной скоростью) прямолинейного горизонтального полета являются два равенства: сил тяги и лобового сопротивления  $P = X_a$ , а также подъемной силы и силы тяжести  $Y_a = gm$ . Первое из этих равенств выполняется в точках пересечения кривых лобового сопротивления  $X_a(V)$  и тяги винта  $P(V)$ , приведенных на рисунке 1. Другими словами, кривая  $X_a(V)$  показывает, какую тягу должна развивать силовая установка для выполнения установившегося горизонтального полета, поэтому ее называют потребной тягой в отличие от действительной, располагаемой тяги  $P(V)$ .

Как следует из рис. 1, для одного и того же положения рычага управления двигателем имеются два равновесных режима: на скоростях  $V_1$  и  $V_2$ . Рассмотрим особенности полета на этих скоростях при выдерживании заданной высоты.

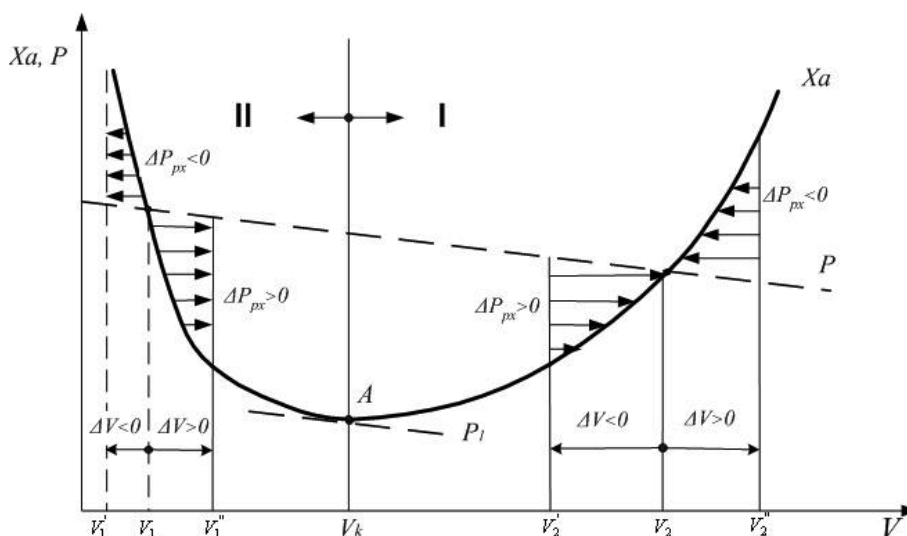


Рис. 1. Зависимость потребной  $X_a$  и располагаемой  $P$  тяги от скорости полета

При случайном отклонении скорости от заданной оператор должен выдержать условие  $Y_a = gm$  соответствующим изменением угла атаки и тогда лобовое сопротивление будет изменяться как показано на рис. 1. Так, если скорость уменьшилась от  $V_2$  до  $V_2'$  на величину  $\Delta V < 0$ , то лобовое сопротивление уменьшится и станет меньше располагаемой тяги на величину избытка тяги  $\Delta P_{px} = (P - X_a) > 0$ , т.е. появится неуравновешенная сила, направленная вперед на разгон ЛА. Нетрудно видеть, что при случайном увеличении скорости от  $V_2$  до  $V_2''$  избыточная сила будет  $\Delta P_{px} < 0$ , которая будет тормозить ЛА вплоть до исходной скорости  $V_2$ .

Таким образом, равновесие сил на скорости  $V_2$  устойчивое – ЛА самостоятельно без вмешательства оператора в работу силовой установки выдерживает заданную скорость. Условие устойчивости можно записать в виде:

$$\frac{\Delta P_{px}}{\Delta V} < 0 \quad \text{или} \quad \frac{dX_a}{dV} > \frac{dP}{dV}. \quad (1)$$

В выражении (1) сделан переход от конечных приращений к дифференциалам. Геометрически это означает, что, если в точке пересечения кривых  $X_a(V)$  и  $P(V)$  провести касательные, то угол наклона первой касательной к оси  $V$  будет больше, чем второй, т.е. темп увеличения лобового сопротивления по скорости будет более высоким, чем темп увеличения располагаемой тяги.

Покажем, что полет на скорости  $V_1$  будет неустойчивым. Так, если по какой-либо причине скорость увеличится на  $\Delta V > 0$  от  $V_1$  до  $V_1''$ , то на новой скорости избыток тяги окажется положительным ( $\Delta P_{px} > 0$ ) и ЛА будет стремиться еще более увеличить скорость (вплоть до  $V_2$ ). Если же скорость уменьшится от  $V_1$  до  $V_1'$  ( $\Delta V < 0$ ), то избыток тяги  $\Delta P_{px} < 0$  и ЛА будет продолжать тормозиться.

В обоих случаях

$$\frac{\Delta P_{px}}{\Delta V} > 0 \quad \text{или} \quad \frac{dX_a}{dV} < \frac{dP}{dV}. \quad (2)$$

В точке касания кривых  $A$  будем иметь равенство производных  $dX_a/dV = dP/dV$  и, следовательно, границу режимов, которая примерно соответствует наивыгоднейшей скорости. Правее точки  $A$  расположены первые режимы полета (I), а на скоростях менее наивыгоднейшей – вторые режимы (II).

С увеличением высоты полета минимальное лобовое сопротивление остается неизменным, такой же должна быть и величина тяги силовой установки. Но для этого необходимо увеличивать обороты двигателя. При этом тяга винта возрастет до необходимой, но кривая  $P(V)$  повернется на больший угол – скорость  $V_k$  уменьшится, диапазон скоростей второго режима сократиться.

Выпуск закрылков увеличивает наивыгоднейший коэффициент подъемной силы  $C_{y_{\text{нб}}}$ , сдвигает границу режимов на меньшие скорости, и ЛА в режиме предпосадочного планирования может оказаться на вторых режимах.

При полете на первых режимах оператор выводит ЛА на заданную скорость и в последующем без необходимости в работу двигателя не вмешивается, выдерживая лишь высоту, требуемый курс и контролируя режим полета по показаниям высотомера, акселерометра, вариометра.

Если необходимо изменить скорость, оператор перемещает рычаг управления двигателем (РУД) в нужную сторону. Так, для увеличения скорости от  $V_2$  до  $V_2''$  РУД перемещается вперед (рис. 2), кривая располагаемой тяги перемещается вверх в положение  $P''$ . На скорости  $V_2$  появляется положительный избыток тяги, скорость начинает возрастать. При достижении скорости  $V_2''$  избыток тяги окажется равным нулю и ЛА будет двигаться с этой скоростью.

Если необходимо уменьшить скорость тяга уменьшается до положения  $P'$  и ЛА переходит на скорость  $V_2'$ . В обоих случаях от оператора требуется лишь одно перемещение РУД.

На вторых режимах для изменения скорости требуются двойные движения РУД. Так, для увеличения

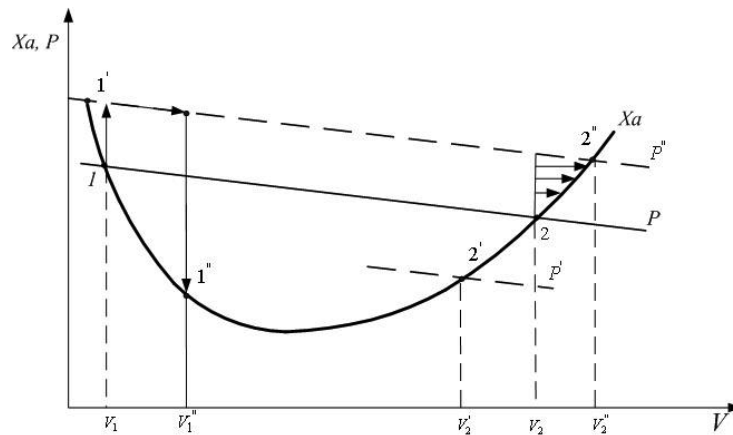


Рис. 2. Особенности управления двигателем на первых и вторых режимах

скорости от  $V_1$  до  $V''_1$ , оператор должен вначале переместить РУД хотя бы на небольшую величину от себя (иначе ЛА не будет разгоняться). Располагаемая тяга займет положение  $1'$ , станет больше лобового сопротивления и скорость начнет возрастать. Однако при достижении требуемой скорости  $V''_1$ , располагаемая тяга окажется больше потребной и для обеспечения равенства  $P = X_a$  РУД необходимо перевести на себя в положение  $1''$ .

Для уменьшения скорости РУД сначала перемещают назад, а при достижении необходимой скорости – вперед.

Поскольку оператору сложно определить требуемое для заданной скорости положение РУД, а ЛА по скорости неустойчив, то при полете на вторых режимах требуется непрерывная работа РУД. Это утомляет оператора и отвлекает его от выполнения основной задачи.

Опасность полета на вторых режимах заключается в том, что, если скорость по какой-либо причине уменьшилась относительно заданной, то ЛА при невмешательстве оператора в работу двигателя будет тормозиться, и тем интенсивнее, чем меньше становится скорость (за счет увеличения отрицательного избытка тяги), – создается угроза выхода ЛА на режим сваливания. Для предотвращения сваливания пилот должен сначала уменьшить угол атаки, а затем вывести двигатель на максимальный режим.

На вторых режимах основным является индуктивное сопротивление, которое пропорционально квадрату угла атаки. Следовательно, уменьшение угла атаки

является самым эффективным средством снижения общего лобового сопротивления. Тяга двигателя, вследствие его небольшой приемистости не может возрасти столь быстро, чтобы предотвратить торможение ЛА.

Из-за опасности сваливания крейсерские полеты на вторых режимах являются не желательными. В этом случае в качестве минимальной принимается скорость, большая наивыгоднейшей.

## 2. Фугоидное движение ЛА и его характеристики

### 2.1. Уравнения длиннопериодического движения ЛА

В динамике полета общепринятым является разделение общего движения на продольное и боковое. Продольное движение осуществляется в плоскости, совпадающей с плоскостью симметрии ЛА. Оно состоит из двух поступательных (вдоль скоростных осей  $OX_a$  и  $OY_a$ ) и одного вращательного – вокруг связанной оси  $OZ$  и, следовательно, описывается тремя уравнениями:

$$\begin{aligned} m\dot{V} &= P - X_a - gm \sin \theta, \\ mV\dot{\theta} &= Y_a - gm \cos \theta, \\ J_z \dot{\omega}_z &= M_z \end{aligned} \quad (3)$$

В этих уравнениях  $m$  – масса ЛА,  $V$  – его скорость полета,  $P$  – сила тяги двигателя,  $X_a$  – лобовое сопротивление,  $Y_a$  – подъемная сила,  $G = gm$  – сила тяжести,

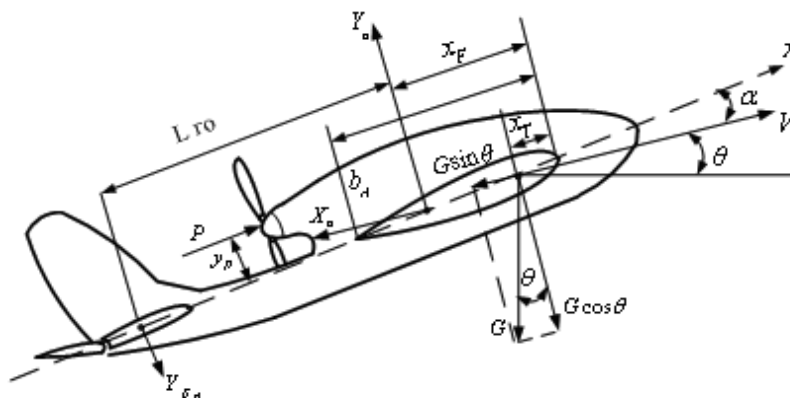


Рис. 3. Схема сил и моментов в продольном движении ЛА

$J_z$  – момент инерции,  $M_z$  – суммарный момент внешних сил,  $\theta$  – угол наклона траектории (угол между вектором скорости и плоскостью горизонта). Схема указанных сил и моментов приведена на рис. 3.

Решение уравнений (3) будем выполнять по традиционной схеме: исходный полет будем считать горизонтальным, прямолинейным и установившимся, когда все силы и моменты уравновешены, т. е. когда сумма всех сил и моментов равна нулю.

Далее, на ЛА действует некоторое возмущение, нарушающее балансировку, в результате чего параметры полета начинают отклоняться от исходных значений (обозначены индексом “0”) на некоторую небольшую величину (обозначены через  $\Delta$ ). Например, истинная скорость полета будет записана в виде  $V = V_0 + \Delta V$ . Причем, приращения параметров будем находить через производную параметра в исходном движении, умноженную на его приращение, например,  $\Delta P = (\partial P / \partial V)_0 \Delta V$ . Для сокращения записи будем записывать производную в виде  $(\partial P / \partial V)_0 = P^V$ .

Тогда в соответствии с методом малых возмущений приращения сил и моментов системы (3) в продольном возмущенном движении могут быть записаны в виде:

В этих уравнениях приняты приращения: угла атаки  $\alpha$ , скорости изменения угла атаки  $\dot{\alpha}$ , угловой скорости поворота ЛА вокруг оси  $w_z$ , угла отклонения руля высоты  $\delta_e$ .

Подставив приращения сил и моментов (4) в уравнения (3), получим систему линейных дифференциальных уравнений продольного движения ЛА.

Реальные ЛА обладают свойством быстро изменять угол атаки и сравнительно медленно скорость. В первом случае в течение небольших промежутков времени можно принять допущение  $\Delta V = 0$ . Это позволяет исключить из рассмотрения первое уравнение, а два последующих описывают продольное короткопериодическое движение.

Если время полета сравнительно велико (измеряется десятками или сотнями секунд), то скорость может измениться на значительную величину. Как будет показано далее, изменение скорости происходит по периодическому закону и, в силу большого периода колебаний, называется длиннопериодическим или фугоидным (от англ. phugoid mode).

Однако в фугоидном движении ЛА медленно вращается вокруг поперечной оси, что дает возможность положить равными нулю угловые скорости  $\dot{\alpha}$ ,  $w_z$  и ускорение  $\dot{w}_z$ .

Кроме изменения скорости изменяться будет также и высота, а, следовательно, и плотность воздуха, от которой зависят многие коэффициенты. Однако диапазон высот БПЛА существенно меньше диапазона высот пилотируемых ЛА, поэтому будем полагать плотность воздуха в возмущенном движении соизмеримой с плотностью исходной высоты.

$$\begin{aligned} \Delta \dot{V} &= (\bar{P}^V - \bar{X}_a^V) \Delta V - (g - \bar{X}_a^\alpha) \Delta \alpha - g \Delta \theta + \bar{P}^{\delta_e} \Delta \delta_e, \\ \Delta \dot{\theta} &= \bar{Y}_a^V \Delta V + \bar{Y}_a^\alpha \Delta \alpha, \\ 0 &= M_z^V \Delta V + M_z^\alpha \Delta \alpha + \bar{M}_z^{\delta_e} \Delta \delta_e, \end{aligned} \quad (5)$$

где

$$\begin{aligned} \bar{P}^V &= \frac{P^V}{m}, \quad \bar{X}_a^V = \frac{X_a^V}{m} = \frac{2C_{x0}}{\tau} - \frac{2g^2 A \tau}{V^2}, \quad \bar{X}_a^\alpha = \frac{X_a^\alpha}{m} = \frac{2C_{x\alpha} \rho V S}{2m} = \frac{C_{x\alpha}^* C_{yV}}{\tau}, \quad \bar{P}^{\delta_e} = \frac{P^{\delta_e}}{m}, \\ \bar{M}_z^{\delta_e} &= \frac{M_z^{\delta_e}}{J_z}, \quad \bar{Y}_a^V = \frac{Y_a^V}{mV} = \frac{2C_{ya} \rho V S}{2mV} = \frac{2C_{ya}}{V\tau}, \quad \bar{Y}_a^\alpha = \frac{Y_a^\alpha}{mV} = \frac{C_{y\alpha}^*}{\tau}, \quad \bar{M}_z^V = \frac{M_z^V}{J_z} = \frac{m_l^* q S b_A}{J_z}, \quad m_{z\delta_e}^* = \frac{P_{y\delta_e}}{q S b_A}, \\ \bar{M}_z^\alpha &= \frac{M_z^\alpha}{J_z} = \frac{m_l^* q S b_l}{J_z}, \\ C_{xa} &= C_{x0} + A C_{x\alpha} \end{aligned}$$

Исключим из рассмотрения в (4) члены, связанные с параметрами  $\dot{\alpha}$ ,  $w_z$  и  $\dot{w}_z$ , подставим зависимости (4) в (3), а затем разделим первое уравнение на  $m$ , второе – на  $mV$ , третье на  $-J_z$ . Последнюю процедуру отметим черточкой над каждым параметром. В результате получим систему уравнений (5), которая и описывает продольное фугоидное движение.

В этих уравнениях частные производные  $X_a^V$ ,  $X_a^\alpha$  получены дифференцированием зависимости лобового сопротивления от скорости  $X_a = (C_{x0} + A C_{x\alpha}^2) \rho V^2 S / 2$  соответственно при постоянном угле атаки и при постоянной скорости. Производную  $P^V$  можно получить дифференцированием тяги воздушного винта от скорости  $P(V)$ . Поляр  $C_{xa}(C_{ya})$  в рабочем диапазоне углов атаки будем рассматривать как квадратичную зависимость с параметрами  $C_{x0}$  и  $A$ .

Для определения собственных свойств ЛА в длиннопериодическом движении будем считать управляющие моменты, создаваемые рулем высоты и тягой силовой установки, равными нулю  $M_z^{\delta_e} \delta_e = M_{zP} = 0$ .

Принимаем также условие, что ЛА обладает достаточной устойчивостью по углу атаки и способен быстро поворачивать ЛА на заданный угол атаки при его случайном отклонении в результате действия атмосферных возмущений.

При принятых допущениях система уравнений (5) становится линейной. Для решения системы (5) сведем ее к одному дифференциальному уравнению второго порядка:

$$\Delta \ddot{V} + 2n_V \Delta \dot{V} + \Omega_V^2 \Delta V = 0, \quad (6)$$

где

$$n_V = -\frac{1}{2} (\bar{P}^V - \bar{X}_a^V + \bar{X}_a^\alpha \frac{m_z^V}{m_z^\alpha}), \quad (7)$$

$$\Omega_V^2 = g (\bar{Y}_a^V - \bar{Y}_a^\alpha \frac{m_z^V}{m_z^\alpha}). \quad (8)$$

В этих уравнениях  $n_V$  – характеристика демпфирования,  $\Omega_V$  – характеристика устойчивости. В большинстве практических случаев  $\Omega_V \geq n_V$ , поэтому изменение скорости полета происходит по периодическому закону

$$\Delta V = V_0 e^{-n_V t} \sin(\omega_V t + \varphi), \quad (9)$$

где

$$\omega_V = \sqrt{\Omega_V^2 - n_V^2}, \quad (10)$$

действительная частота колебаний скорости.

Период колебаний однозначно связан с частотой

$$T_V = \frac{2\pi}{\omega_V}, \quad (11)$$

а относительная степень затухания колебаний равна

$$\xi_V = \frac{n_V}{\Omega_V}.$$

(12)

Другие характеристики колебательного движения по форме являются такими же, как и в короткопериодическом движении.

Для лучшего восприятия специфики длиннопериодического движения БпЛА рассмотрим характеристики одного из реальных аппаратов и выберем режим полета (скорость и высоту). Важнейшие из них приведены в табл. 1.

2.2. Моделирование длиннопериодического движения

Определяющим фактором длиннопериодического движения является скорость. Угол атаки хотя и изменяется в процессе полета, однако степень устойчивости по перегрузке стремится все время поддерживать его величину заданной.

Для выявления особенностей данного вида движения и оценки факторов, влияющих на его характеристики, вначале рассчитаны необходимые исходные данные в диапазоне скоростей 100...200 км/ч (табл. 1). Результаты расчета параметров длиннопериодического движения по приведенным формулам представлены в табл.2.

В соответствии с формулой (7) демпфирование движения ЛА осуществляется в основном производными тяги двигателя и лобового сопротивления по скорости ( $\overline{P}^V, \overline{X}^V$ ). Для их определения были построены зависимости  $P(V)$  и  $X_a(V)$ , которые приведены на рис. 4.

Зависимость  $P(V)$  была аппроксимирована полиномом второй степени, что позволило найти функцию  $\overline{P}^V(V)$  для любого значения  $V$ . Производная  $\overline{\partial}_a^V$  получена дифференцированием силы лобового сопротивления  $\overline{\partial}_a^V = 2\tilde{N}_{\partial 0} / \tau - 2g^2 A \tau / V^2$ . Второе слагаемое этой формулы определяет в основном величину лобового сопротивления на малых скоростях (на вторых режимах полета). Оно отрицательное по знаку и является антидемпфером. Поэтому общее демпфирование

Таблица 1. Исходные данные для расчета параметров длиннопериодического движения

№п/п	Наименование параметра	Обозначение	Розмерність	Исходные значения
1	Высота полета	$H$	м	2400
2	Воздушная скорость	$V$	км/год(м/сек.)	170(47.2)
3	Масса ЛА	$m$	кг	160
4	Площадь крыла	$S$	м <sup>2</sup>	3,5
5	Средняя аэродин. хорда крыла	$b_A$	м	0,547
6	Момент инерции относит. оси OZ	$I_z$	кгм <sup>2</sup>	115,4
7	Радиус инерции	$\bar{r}_z^2 = I_z / mb_A^2$	-	2,41
8	Плотность ЛА (продольный канал)	$\mu=2m/rSb_A$	-	173
9	Масштаб времени	$t=2m/rSV$	сек	2
10	Степень статической устойчивости	$m_z^{C_y}$	-	-0,12
11	Производная	$C_y^\alpha$	-	5,2
12	Производная	$m_z^V$	сек/м	0,00108
13	Производная	$m_z^\alpha$	-	-0,624
14	Производная	$\overline{P}^V$	Н сек/м кг	-0,0558
15	Производная	$\overline{X}_a^V$	Н сек/м кг	0.034
16	Производная	$\overline{X}_a^\alpha$	Н/кг	0,378
17	Производная	$\overline{Y}_a^V$		0,009
18	Производная	$\overline{Y}_y^\alpha$	1/с	2,6
19	Производная	$m_z^{V_{za}}$	1/м/с	-0,00108
20	Производная	$m_z^{\alpha_{za^V}}$	-	-0,624

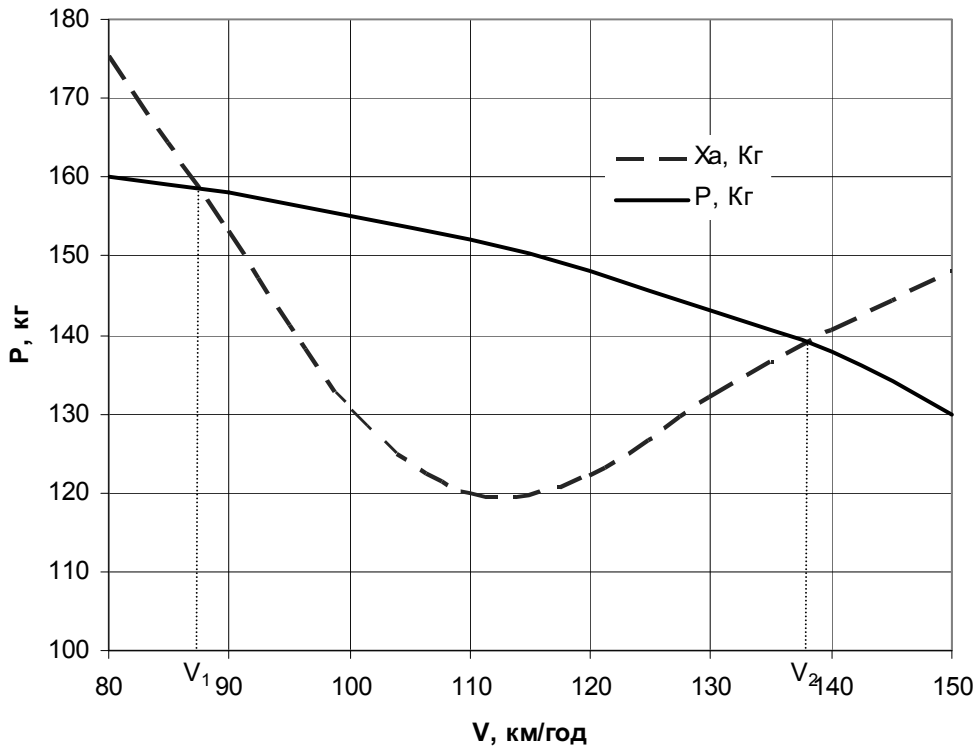


Рис. 4. Пример зависимости тяги винта и лобового сопротивления от скорости полета

Таблица 2. Характеристики длиннопериодического движения

$V, \text{ km/час}$	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
$\chi_a, \text{ Н}$	1300	1200	1220	1320	1410	1480	1670	1940	212	232	253
$P, \text{ Н}$	1521	1491	1452	1403	1354	1275	1079	991	912	834	736
$C_{y_{\text{гп}}}$	1,88	1,49	1,20	0,99	0,84	0,71	0,61	0,53	0,47	0,42	0,37
$C_{\chi a}$	0,1	0,08	0,065	0,06	0,055	0,051	0,05	0,05	0,050	0,049	0,0484
$t, \text{ с}$	3,41	3,10	2,84	2,62	2,43	2,27	2,13	2,00	1,89	1,79	1,70
$\bar{X}_a^V, \text{ Н/м/с кг}$	-0,02	-0,006	0,005	0,013	0,020	0,025	0,030	0,034	0,038	0,042	0,046
$\bar{X}_a^\alpha, \text{ Н/кг}$	0,738	0,738	0,738	0,738	0,738	0,738	0,738	0,738	0,738	0,738	0,738
$\bar{Y}_a^\alpha, \text{ Н/м/с}$	37	1,53	1,68	1,83	1,98	2,14	2,29	2,44	2,59	2,75	2,90
$\bar{Y}_a^V, \text{ Н/м/с кг}$	0,031	0,025	0,021	0,018	0,015	0,013	0,011	0,010	0,009	0,008	0,007
$-P^V, \text{ Н/м/с}$	5,392	5,648	6,72	7,2	7,328	8,336	8,8	8,912	8,928	8,944	8,944
$-\bar{P}^V, \text{ Н/м/с, кг}$	0,034	0,0353	0,042	0,045	0,046	0,052	0,055	0,056	0,0558	0,0559	0,0559
$-m_z^V, \text{ с/м}$	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,0011	0,001	0,0009
$-m_z^\alpha$	0,624	0,624	0,624	0,624	0,624	0,624	0,624	0,624	0,624	0,624	0,624
$n_v, 1/\text{с}$	0,005	0,0137	0,022	0,028	0,032	0,038	0,047	0,044	0,0464	0,0484	0,0502
	0,000	0,0002	0,0005	0,0008	0,0010	0,0014	0,0017	0,002	0,0022	0,0023	0,0025
$\Omega_{V,1}^2 / c^2$	0,257	0,2018	0,1546	0,1227	0,1001	0,077	0,0615	0,051	0,04212	0,0352	0,0295
$w_v, 1/\text{с}$	0,507	0,449	0,393	0,349	0,315	0,275	0,244	0,220	0,200	0,181	0,164
$T, \text{ с}$	12,4	14,0	16,0	18,0	19,9	22,8	25,7	28,5	31,4	34,7	38,2
$\zeta_v$	0,011	0,030	0,057	0,080	0,101	0,136	0,168	0,197	0,226	0,258	0,292



ЛА на вторых режимах мало и определяется в основном производной  $\bar{P}^V(V)$ .

При скоростях полета, больших наивыгоднейшей, основным является слагаемое коэффициента лобового сопротивления  $2C_{x0}/\tau$ , которое пропорционально скорости. Так, например, при увеличении скорости от 100 до 200 км/ч показатель  $n_v$  увеличился на порядок.

Частота колебаний зависит в основном от подъемной силы через производные  $(\bar{Y}_a^V, \bar{Y}_a^a)$ . Они определяются дифференцированием формулы подъемной силы при постоянном угле атаки  $(\bar{Y}_a^V)$  или постоянной скорости  $(\bar{Y}_a^a)$ .

Как видно из табл. 2, производная  $\bar{Y}_a^a$  существенно больше производной  $\bar{Y}_a^V$  и по скорости изменяется линейно, т. е. при изменении скорости от 100 до 200 км/ч  $\bar{Y}_a^a$  увеличивается вдвое, колебания затухают быстрее. Причем, эффект ее действия зависит от величины продольной статической устойчивости: при малой степени устойчивости угол атаки при прочих одинаковых условиях отклоняется от заданного значения на большую

величину, траектория поворачивается на больший угол и препятствует увеличению угла атаки. При большой устойчивости на ЛА действует мощный продольный момент, который энергичнее поворачивает ЛА к заданному углу атаки – частота колебаний возрастает.

Таблица 3. Варианты исходных данных для моделирования свободного длиннопериодического движения БПЛА

Параметр	Режим полету RI	Режим полету RII
$V_p$ , км/ч	100	170
$H_p$ , м	2400	2400
$\bar{P}^V$ , Н/м/сек	-0,0353	-0,0558
$\bar{X}_a^V$ , Н/м/сек	-0,006	0,038
$\theta_p$ , град	-10	-10

Влияние величины исходной скорости на частоту ее колебаний противоположный. ЛА более инерционный к изменению скорости: чем она больше, тем сложнее повернуть ЛА для изменения траектории и тем меньше будет частота ее колебаний. Из табл. 2 также видно, что частота колебаний ЛА на скорости 200 км/ч почти в три раза меньше, чем на скорости 100 км/ч.

Большой период при слабом затухании делает длиннопериодические колебания малозаметными для наблюдателя с земли, и он иногда воспринимает колебательный переходный процесс ЛА как прямолинейный полет.

Для демонстрации влияния режима полета на характер длиннопериодических колебаний выполнено их моделирование. Результаты представлены на рисунках 5 - 7.

Численное решение уравнений (5) выполнено с использованием программы MATLAB для двух вариантов исходных данных (см. табл.3).

Результаты моделирования представлены в виде изменения по времени скорости, угла наклона траектории и высоты полета. В качестве начального возмущения выбран угол наклона траектории  $-10^\circ$ . Благодаря этому, ЛА начинает снижаться, его скорость увеличивается, появляется приращение подъемной силы, которое стремится искривить траекторию вверх.

Угол наклона траектории и тангажа постепенно увеличиваются, ЛА выходит из снижения, а затем и переходит в набор высоты. По мере набора высоты скорость начинает убывать, а с нею и подъемная сила. На некоторой высоте ЛА достигает исходной скорости и прирост подъемной силы становится равным нулю. Однако угол наклона траектории при этом будет максимальным положительным, и ЛА продолжает набор высоты, уменьшая скорость.

Уменьшение скорости обусловит появление отрицательного прироста подъемной силы, направленного вниз. Он начнет искривлять траекторию вниз, угол наклона траектории уменьшается с последующим нарастания скорости и т. д.

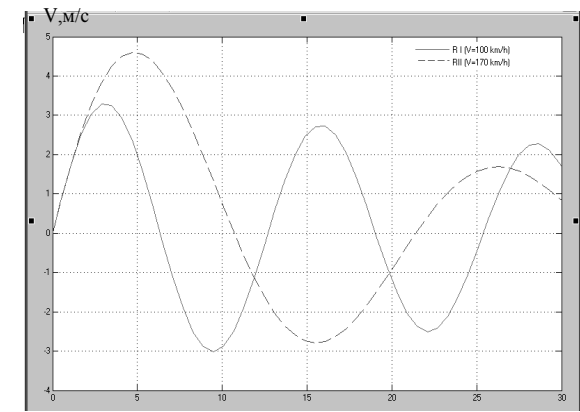


Рис.5. Изменение скорости по времени в режимах RI и II

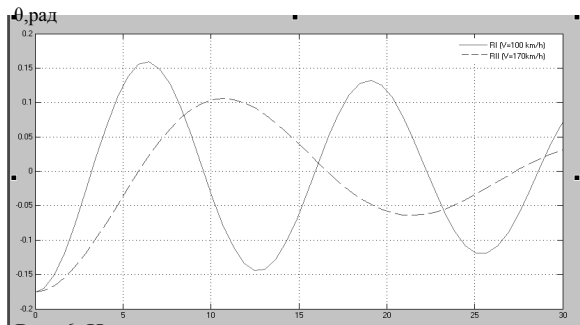


Рис. 6. Изменение угла наклона траектории по времени в режимах RI и II

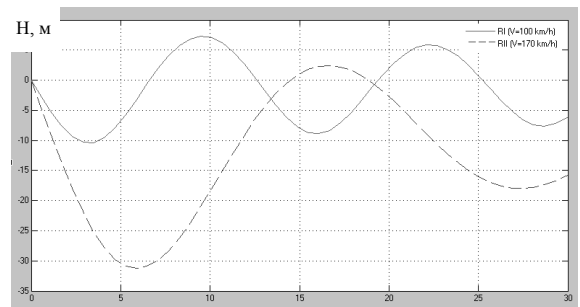


Рис. 7. Изменение высоты полета по времени в режимах RI и II

Таким образом, изменение скорости при неизменном положении руля высоты и РУД сопровождается колебательным движением, которое связано с циклическим изменением подъемной силы. Демпфирующую роль выполняют приросты лобового сопротивления и силы тяги воздушного винта.

Приросты подъемной сила вызывают перемещение центра масс в направлении своего действия и изменение угла атаки. При этом вступает в действие момент продольной устойчивости, который путем вращения ЛА вокруг поперечной оси стремится не допустить отклонения угла атаки от заданной исходной величины.

БпЛА совершают полеты на небольших высотах в плотной атмосфере, поэтому отклонение параметров полета от исходных значений невелики. Так, при исходной скорости 170 км/ч в первом периоде скорость отклоняется от начальной на 4,6 м/с (17 км/ч), угол наклона траектории – на 0,15 рад (8,6 град), высота – на -30 м. После прекращения колебаний ЛА будет снижаться по криволинейной траектории.

Описанное движение характерно для ЛА при отказе системы управления и стабилизации. В этом случае ЛА переходит в фугоидный полет, теряет высоту и совершает аварийную посадку даже при работающем двигателе и при наличии запаса топлива.

### Выводы

1. В статье показаны особенности устойчивости и управляемости беспилотного летательного аппарата в режиме маршрутного полета. Обращено внимание на сложность пилотирования и соблюдения безопасности полета на вторых режимах. Показан способ определения границы между первым и вторым режимами полета.

2. Определены критерии устойчивости движения в прямолинейном горизонтальном полете и способы их формирования.

3. Обоснована математическая модель продольного длиннопериодического (фугоидного) движения. Дан пример ее использования на конкретном примере гипотетического образца.

4. Выполнено моделирование свободного длиннопериодического движения с целью анализа факторов, влияющих на параметры полета в различных условиях применения БпЛА.

### СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Лысенко Н.М. Динамика полета. Устойчивость и управляемость. /ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского. – 1967. – 640 с.
2. Беспилотные летательные аппараты. Методики приближенных расчетов основных параметров и характеристик /В.М. Ильюшко, М.М. Митрахович, В.И. Силков, А.В. Самков, О.В. Соловьев, В.И. Стрельников; Под общей редакцией В.И. Силкова. – К.:ЦНИИ ВВТ ВС Украины. – 2009. – 302 с.
3. Беспилотные летательные аппараты. Обоснование и расчет основных параметров и характеристик. Под общей редакцией В.И. Силкова. – К.: ЦНИИ ВВТ ВС Украины. – 2016. – 268 с.
4. Красовский А.А. Системы автоматического управления полетом и их аналитическое конструирование. – М.: Наука, 1973. – 560 с.
5. Мхитарян А.М. Аэродинамика./М.: Машиностроение. – 1970. – 428 с.

Стаття надійшла до редколегії 25.02.2019 р.

**Рецензент О. О. Расстригин**, д-р техн. наук, с.н.с.  
(Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)  
<https://orcid.org/0000-0002-1482-6111>

УДК 623.4.011

DOI: [https://doi.org/10.34169/2414-0651.2019.1\(21\).67-74](https://doi.org/10.34169/2414-0651.2019.1(21).67-74)**П.П. ЧАБАНЕНКО,***доктор воєнних наук, професор***С.М. РОЗГОНАЄВ,** *кандидат технічних наук,  
старший науковий співробітник***О.М. БЕРЕЖНИЙ,** *кандидат технічних наук,  
старший науковий співробітник**(Центральний науково-дослідний інститут  
озброєння та військової техніки  
Збройних Сил України, м. Київ)*

## Поцінювання ефективності експлуатації та бойового застосування озброєння і військової техніки з перервними контурами управління за показником безпомилковості виконання задачі

*Розроблені метод та методика оцінки ефективності виконання задачі для випадку перервного процесу експлуатації та бойового застосування озброєння і військової техніки на основі ергомережних графо-аналітичних моделей. Розрахунками (на моделі) показано вплив зворотного зв'язку на ймовірність безпомилкового виконання задачі для процесу, що досліджувався.*

*Разработанные метод и методика оценки эффективности выполнения задачи для случая прерывного процесса эксплуатации и боевого применения вооружения и военной техники на основании эргомережных графо-аналитических моделей. Расчетами (на модели) показано влияние обратной связи на вероятность безошибочного выполнения задачи для исследуемого процесса.*

Один із базових принципів ефективного управління в кібернетиці та військовій справі – принцип *зворотного зв'язку* (ЗЗв). За ЗЗв управляюча інформація перетворюється в інформацію стану та зворотно, циркулюючи по контуру керування. Методи та моделі кількісного врахування впливу ЗЗв на якість *безперервних* процесів керування широко використовується та удосконалюється [1]. Природа процесів експлуатації та бойового застосування озброєння і військової техніки – *перервна*. До них, наприклад, відносяться:

- підготовка боєкомплекту протикорабельних ракет до видачі на носій;
- розробка штабом Плану вогневого ураження противника;
- ракетна стрільба з метою ураження головної цілі в корабельній групі противника та інші, що здійснюються в військових організаційно-технічних системах (ОТС).

Дослідники військових ОТС мають потребу у продуктивних методах та моделях кількісного оцінювання впливу ЗЗв на ефективність *перервних* процесів функціонування (ПФ) у вигляді *взаємопов'язаних дій* (розумових та/або фізичних), *безпомилкове і своєчасне виконання яких ерготичними та технічними елементами системи призводить до досягнення її мети*.

Подібні ПФ і математичні моделі по оцінюванню ймовірнісних характеристик їх типових фрагментів розглядалися в роботах [2-5], але тільки в класі наближених показників якості виконання і при детермінованій початковій умові «норма». Актуальність розвитку функціонально-структурного підходу для дослідження перервних ПФ систем підтверджується в [6,7], де він застосований до діалогових систем комп'ютерного навчання, але без врахування змін станів об'єкта управління (ОУ).

**Метою статті** є представлення метода та методики графоаналітичного моделювання типових контурів функціонування ОТС з оцінкою безпомилковості виконання задачі.

### **Вихідні положення.**

В ПФ військових ОТС інформація циркулює у вигляді наказів, розпоряджень, команд, доповідей та повідомлень. Рішення виробляються та виконуються у вигляді цілеспрямованих циклічних впливів [8] на ОУ. До основних допущень віднесемо:

- стан ОУ (системи в цілому) представляється дискретно, в частковому випадку подвійно: 1 – правильний, 2 – помилковий;
- існує можливість встановити відповідність результатів рішень та їх виконання мети системи через співвідношення їй за-рівневих завдань, функцій та обмежень, визначених умов;
- поняття *похибка* включає поняття *збій* і полягає у невідповідності рішення фактичному стану системи та її мети або такого результату його виконання, яке не відповідає наміченому рішенню.

Контури функціонування в ОТС можуть бути різними. Виділимо із типових такий контур безпомилковості, в якому здійснюються контрольовані за правильністю

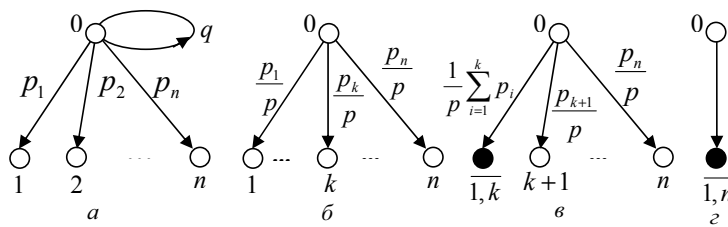


Рис. 1.

виконання дії та можливе відновлення правильного функціонування системи з усуненням наслідків похибок, що допущені. Функція **контролю** має загальне значення. В концепції **Internet of Things** (**“Інтернет речей”**) контроль передбачається тотальним [9], що підтверджує його загальність та важливість. В контурі безпомилковості ОТС контроль – типовий елемент процесу її функціонування, що приймає рішення.

Графоаналітичний метод, що пропонується, призначений для виведення формул з оцінювання показника безпомилковості рішення задач ОТС з контурами безпомилковості в ПФ. В таких контурах виявляються похибки управління та виконання, усуваються їх наслідки, затрачується деякий ресурс.

Виведення відміченого показника здійснюється розробкою тріади модельних елементів:

- графу дій-робіт (ГР) як зручний для сприйняття структурно-логічної схеми процесу у формалізованому вигляді, але без деталізації;
- перелік вихідних даних (ВД): ймовірнісні характеристики виконання дій (робіт, операцій, заходів, задач);
- графу подій (ГП) – детальної моделі ПФ, співвіднесеної ГР та ВД, але що відображає процес на рівні вихідних даних.

Розробка формул для показників зводиться до спільного укрупнення ГП та еквівалентному перетворенню характеристик його дуг за етапами, рівнями аж до отримання підсумкових формул. Після чого необхідність в ГП відпадає.

### 1. Модель простого циклічного процесу

Проста граф-модель циклічного процесу представлена на рис. 1а у вигляді графу подій з петлею при вершині 0 з  $n$  можливими виходами. Ймовірність того, що на деякому кроці  $l$  об'єкт (або система в цілому), що моделюється, буде знаходитися в вершині – стані 0, у випадку незалежних кроків дорівнює  $q^l$ . Ймовірність завершення процесу з результатом  $i$  буде

$$P_i = \sum_{l=1}^{\infty} p_i q^{l-1} = \frac{p_i}{1-q} = \frac{p_i}{p}, \quad (1)$$

де  $p$  – однокрокова ймовірність завершення процесу з будь-яким результатом – виходом  $i = 1, n$  із циклічності ( $p = p_1 + p_2 + \dots + p_n$ ).

Аналітичному перетворенню (1) співвідноситься перетворення графа в ймовірнісне розгалуження (рис. 1б) без петлі, але з еквівалентними характеристиками  $p_i/p$  дуг з вершини 0.

При об'єднанні вершин  $1, 2, \dots, k$  граф представляється рис. 1в з ймовірністю  $(p_1 + p_2 + \dots + p_k)/p$  дуги

в об'єднану вершину  $\overline{1, k}$ . При  $k = n$  увесь процес зводиться до одиничної дуги (рис. 1г), що відображає здійснюваність нормувальної умови при розглянутих перетвореннях. Доповнимо їх очевидною заміною шляху із  $n$  послідовних дуг однією дугою з ймовірністю, що дорівнює помноженню  $p_1 p_2 \dots p_n$  ймовірностей всіх дуг шляху.

Замітимо, що при складанні однокрокових ймовірностей  $p_i$  у графі рис. 1а отримаємо частковий випадок графу (рис. 2), якому відповідає **геометричний** розподіл числа кроків до завершення процесу

$$p(p, l) = pq^{l-1}, \quad (2)$$

де  $p = p_1 + \dots + p_n$ .

Геометричний розподіл – єдиний із дискретних розподілів, що не має пам'яті: зміщення по вісі  $l$  його не змінює. Це означає, що дослідний процес без післядії: з будь-якого  $l$  він представляється як з початку та не залежить від його протікання в минулому.

Моментні характеристики числа кроків, що підлягають розподілу (2):

$$\left. \begin{aligned} &\text{– математичне очікування} \quad m_l = 1/p \\ &\text{– дисперсія} \quad d_l = q/p^2 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

При цьому середнє число кроків до виходу із процесу буде

$$\bar{l} = m_l - 1 = q/p.$$

### 2. Граф-модель контуру безпомилковості

В якості контуру безпомилковості ПФ системи розглянемо типову циклічну структуру функцій у вигляді графа робіт, що приведена на рис. 3.

Задамо вихідні дані матрицями ймовірностей  $S_i$  початкових станів  $i$  ОУ та матрицями умовних ймовірностей його станів  $j$  при виконанні відповідних дій  $P, K, B$  в умовах  $i$ :

$$S = \begin{bmatrix} S_1 \\ S_2 \end{bmatrix}, \quad P = \begin{bmatrix} P^{11} & P^{12} \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad K = \begin{bmatrix} K^{11} & K^{12} \\ K^{21} & K^{22} \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ B^{21} & B^{22} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

де  $P^{21}$  (штатна робоча операція не відновлює стан правильного функціонування ОУ, системи),  $B^{12} = 0$  (операцією відновлення стан не погіршується).

### 3. Виведення формул для оцінки показника безпомилковості рішення задач

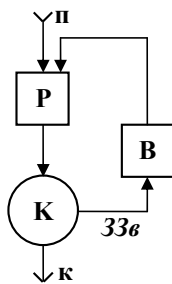


Рис. 3.

**Р** – *робоча функція* (розумова або фізична дія; розробка плану, його виконання; захід; операція; робота),  
**К** – *контроль правильності* виконання операції **Р**,  
**В** – *відновлення* правильного функціонування (усунення наслідків похибок з відновленням стану ОУ, системи),  
**п/к** – *початок/кінець* процесу або його фрагменту (роз'єми),  
**ЗЗв** – *зворотний зв'язок*.

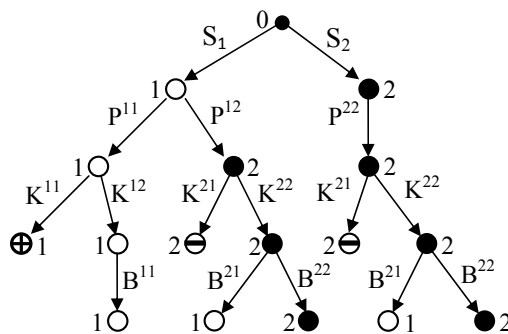


Рис. 4.

Вершини:

- початкова
- поглинаючі
- проміжні і висячі

Для виведення аналітичних залежностей з оцінки показника безпомилковості виконання задач по структурі рис. 3 представимо процес деталізованим ГП (рис. 4).

На дугах графу вказані ймовірнісні характеристики елементів Р, К, В графу робіт із складу вихідних даних (4).

Замикаючи вершини, що висять, на відповідні проміжні вершини отримаємо рис. 5 з еквівалентними характеристиками (5)

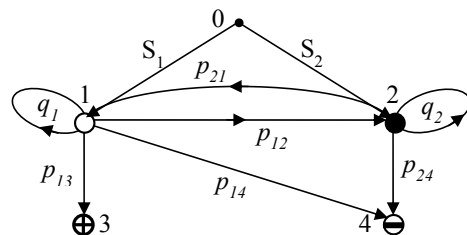


Рис. 5.

$$\left. \begin{aligned} p_{12} &= P^{12} K^{22} B^{22}, & p_{14} &= P^{12} K^{21} \\ p_{21} &= P^{22} K^{22} B^{21}, & p_{24} &= P^{22} K^{21} \\ p_{13} &= P^{11} K^{11}, & q_2 &= P^{22} K^{22} B^{22} \\ q_1 &= P^{11} K^{12} B^{11} + P^{12} K^{22} B^{21} \end{aligned} \right\}, \quad (5)$$

де  $P^{22} = B^{11} = 1$ ,  $q_i = 1 - p_i$ .

Виключимо із ГП рис. 5 переходи у поглинаючі вершини (виходи із процесу) та розглянемо його циклічну складову рис. 6а з покроковим представленням рис. 6б.

Складемо систему рекурентних рівнянь

$$\left. \begin{aligned} S_1(l) &= S_1(l-1)q_1 + S_2(l-1)p_{21} \\ S_2(l) &= S_2(l-1)q_2 + S_1(l-1)p_{12} \end{aligned} \right\}, \quad (6)$$

при  $S_1(0) = S_1$ ,  $S_2(0) = S_2 = 1 - S_1$ .

Чисельно можливо визначити ймовірності безпомилкового (+) та помилкового (–) результатів на довільному кроці процесу

$$\left. \begin{aligned} P^+(l) &= S_1(l-1)p_{13} \\ P^-(l) &= S_1(l-1)p_{14} + S_2(l-1)p_{24} \end{aligned} \right\}, \quad (7)$$

де  $p_{13}, p_{14}, p_{24}$  наведені в (5).

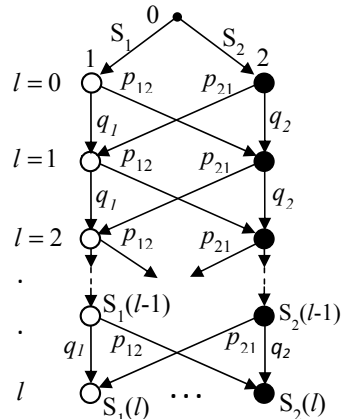
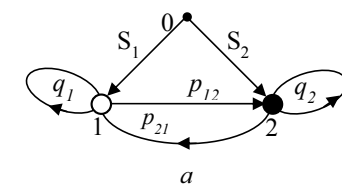


Рис. 6.

Ймовірність безпомилкового рішення задачі за структурою рис. 3 складає

$$P_b = \sum_{l=1}^{\infty} P^+(l) = P^{11} K^{11} \sum_{l=1}^{\infty} S_1(l-1). \quad (8)$$

У випадку обмеження процесу за числом кроків  $L \leq l_0$  складання в (8) здійснюється до  $l_0$  включно.

Відомий недолік рекурентного чисельного розрахунку – великі витрати ресурсу часу та пам'яті, ускладненість виявлення закономірностей. Тому розглянемо і виведення аналітичних залежностей для  $S_i(l)$ . При цьому основними прийомами будуть: виявлення типових шляхів в початковому графі і звернення до індукції для узагальнення функцій  $S_i(l)$ .

Структурний аналіз рис. 6 виділяє типовий шлях із стану 1 в стан 1 за  $l$  кроків (рис. 7). На ньому можливі  $x$  кроків при вершині 1, ще  $2r$  кроків з переходом в вершину 2 та назад, плюс  $z$  кроків при вершині 2. Всього  $x + 2r + z = l$  кроків. Один шлях без зміни стану з ймовірністю  $q_1^x$ . Решта проходять через обидві вершини, кожен містить у ймовірності співмножник  $q_1^x q_2^z$  та однаковий у всіх співмножник  $(p_{12} p_{21})^r$ . Подібний розглянуто-му типовий шлях із стану 2 в стан 1.

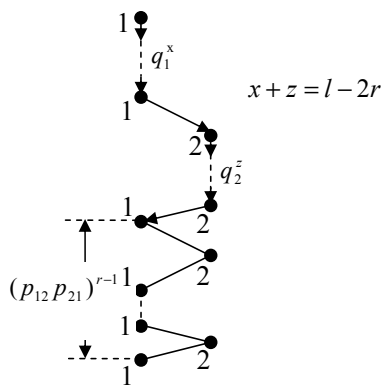


Рис. 7. Типовий шлях з

Встановимо числа типових шляхів, що ведуть в стан 1, та визначимо ймовірності  $S_i(l)$ .

Розкриваючи  $S_i(l)$  послідовно по  $l$ , запишемо:

$$\begin{aligned} l=1 & S_1 q_1 + S_2 p_{21}, \\ l=2 & S_1 (q_1^2 + p_{12} p_{21}) + S_2 p_{21} (q_1 + q_2), \\ l=3 & S_1 [q_1^3 + p_{12} p_{21} (q_2 + 2q_1)] + S_2 p_{21} (q_1^2 + q_1 q_2 + q_2^2 + p_{12} p_{21}), \\ l=4 & S_1 [q_1^4 + p_{12} p_{21} (q_2^2 + 2q_2 q_1 + 3q_1^2) + (p_{12} p_{21})^2] + S_2 p_{21} [q_1^3 + q_1^2 q_2 + q_1 q_2^2 + q_2^3 + \\ & + p_{12} p_{21} (2q_1 + 2q_2)], \\ & \dots \\ l=7 & S_1 [q_1^7 + p_{12} p_{21} \sum_{k=1}^6 k q_1^{k-1} q_2^{6-k} + (p_{12} p_{21})^2 (4q_2^3 + 9q_2^2 q_1 + 12q_2 q_1^2 + 10q_1^3) + (p_{12} p_{21})^3 \times \\ & \times (3q_2^2 + 4q_1)] + S_2 p_{21} [\sum_{k=1}^7 q_1^{7-k} q_2^{k-1} + p_{12} p_{21} (5q_1^4 + 8q_2 q_1^3 + 9q_2^2 q_1^2 + 8q_2^3 q_1 + 5q_2^4) + \\ & + (p_{12} p_{21})^2 (6q_1^2 + 9q_1 q_2 + 6q_2^2) + (p_{12} p_{21})^3]. \end{aligned}$$

$S_2(l)$  визначається шляхом простої заміни індексів ( $1 \rightarrow 2, 2 \rightarrow 1$ ):

$$\begin{aligned} l=1 & S_1 q_1 + S_2 p_{21}, \\ l=2 & S_1 (q_1^2 + p_{12} p_{21}) + S_2 p_{21} (q_1 + q_2), \\ l=3 & S_1 [q_1^3 + p_{12} p_{21} (q_2 + 2q_1)] + S_2 p_{21} (q_1^2 + q_1 q_2 + q_2^2 + p_{12} p_{21}), \end{aligned}$$

і т.п.

Виявляється, що при  $r = \text{const}$  числа перемножень  $q_1^x q_2^z$  дорівнюють перемноженням чисел поєднань:

$$C_{r+k-1}^r C_{l-r-k}^{r-1} \text{ при } S_1; \quad C_{r+k-1}^r C_{l-r-k}^r \text{ при } S_2.$$

В результаті по індукції отримаємо формули для обчислення ймовірностей стану ОУ на довільному кроці  $l$  процесу:

$$\begin{aligned} S_1(l) = & S_1 [q_1^l + \sum_{r=1}^{r_1} (p_{12} p_{21})^r \sum_{k=1}^{l-2r+1} C_{r+k-1}^r C_{l-r-k}^{r-1} q_1^{k-1} q_2^{l-2r+1-k}] + \\ & + S_2 p_{21} \sum_{r=0}^{r_2} (p_{12} p_{21})^r \sum_{k=1}^{l-2r} C_{r+k-1}^r C_{l-r-k}^r q_1^{l-2r-2} q_2^{k-1}, \end{aligned} \quad (9)$$

де  $l = 1, 2, 3, \dots$ , а межі підсумовування:

$$\left. \begin{aligned} r_1 = r_2 = (l-1)/2 & \text{ при парних } l = 2, 4, 6, \dots \\ r_1 = l/2, r_2 = r_1 - 1 & \text{ при непарних } l = 1, 3, 5, \dots \end{aligned} \right\}$$

а так як граф рис. 6б симетричний, то  $S_2(l)$  записується по (9) заміною індексів:  $1 \rightarrow 2, 2 \rightarrow 1$ .

Перевірка на часткових випадках підтверджує правильність формули (9). Зокрема для  $l = 4$  маємо

$$\begin{aligned} S_1(4) = & S_1 [q_1^4 + p_{12} p_{21} \sum_{k=1}^2 C_k^1 C_{3-k}^0 q_1^{k-1} q_2^{3-k} + (p_{12} p_{21})^2] + \\ & + S_2 p_{21} (\sum_{k=1}^4 q_1^{4-k} q_2^{k-1} + p_{12} p_{21} \sum_{k=1}^2 C_k^1 C_{3-k}^1 q_1^{2-k} q_2^{k-1}) = \\ & S_1 [q_1^4 + p_{12} p_{21} (q_2^2 + 2q_2 q_1 + 3q_1^2) + (p_{12} p_{21})^2] + S_2 p_{21} [q_1^3 + q_1^2 q_2 + q_1 q_2^2 + q_2^3 + \\ & + 2p_{12} p_{21} (q_1 + q_2)], \end{aligned}$$

що співпадає з результатом безпосередніх перетворень по рекурсії (6).

Відмітимо, що вираз (9) громіздкий, що свідчить про необхідність пошуку більш простих рішень.

#### 4. Розробка граничних виразів для показників безпомилковості

Звернемося до рис. 6а та перетворимо цей граф за правилом граничного врахування циклічності: *прибирання петлі при вершині еквівалентно поділу ймовірностей кожної із її дуг, що виходять, на їх суму*. Отримаємо граф рис. 8а, який можливо представити у вигляді рис. 8б.

Представимо рис. 8б в покроковому вигляді (рис. 9) з записом формул для ймовірностей станів по крокам  $l = 1, 2, 3, \dots$  з послідовним узагальненням по довільному кроці по індукції. В результаті отримаємо для ймовірності стану 1 на кроці  $l$ :

$$S_1(l) = \begin{cases} S_1 a_1^{1/2} b_2^{l/2} & \text{при } l = 2, 4, \dots \\ S_2 a_1^{(l-1)/2} b_2^{(l+1)/2} & \text{при } l = 1, 3, \dots \end{cases} \quad (10)$$

А так як граф рис. 9 симетричний, то можемо записати

$$S_1(l) = \begin{cases} S_1 a_1^{1/2} b_2^{l/2} & \text{при } l = 2, 4, \dots \\ S_2 a_1^{(l-1)/2} b_2^{(l+1)/2} & \text{при } l = 1, 3, \dots \end{cases}$$

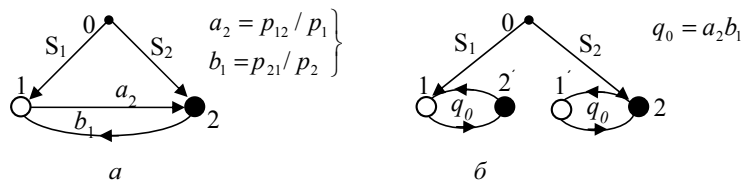


Рис. 8.

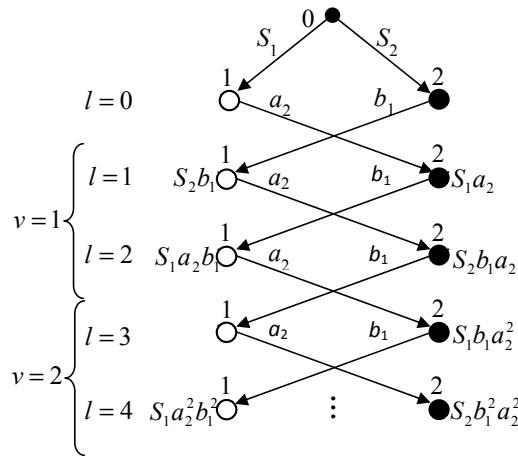


Рис. 9.

Отримані наближені формули значно простіші, чим (9). Замітимо, що вони отримані не аналітичним, а графоаналітичним перетворенням вихідної моделі процесу.

Введемо нову змінну  $v$ , що об'єднує пари суміжних значень  $l$ , як показано у табл. 1.

Таблиця 1. Співвіднесення змінних  $l$  та  $v$

$l$	1	2	3	4	5	6	7	8	$\dots$	$l-1$	$l$
$v$	1		2		3		4			$l/2$	

В новій змінній ймовірності станів приймають вигляд

$$\left. \begin{aligned} S_1(v) &= (S_1 a_2 + S_2) b_1 q_0^{v-1} \\ S_2(v) &= (S_2 b_1 + S_1) a_2 q_0^{v-1} \end{aligned} \right\}. \quad (11)$$

Тут при  $v>0$  умова  $S_1(v)+S_2(v)=1$  не дотримується, оскільки із станів 1, 2 на кроках  $v \geq 1$  можливі переходи у поглинаючі стани 3, 4 з умовними ймовірностями

$$a_3 = p_{13}/p_1, \quad a_4 = p_{14}/p_1, \quad b_4 = p_{24}/p_2. \quad (12)$$

Тому ймовірності завершення процесу на кроці  $i$  безпомилково (+), помилково (-) визначаються як

$$\left. \begin{aligned} P^+(v) &= (S_1 + S_2 b_1) q_0^{v-1} a_3 \\ P^-(v) &= (S_1 + S_2 b_1) q_0^{v-1} a_4 + (S_2 + S_1 a_2) q_0^{v-1} b_4 \end{aligned} \right\}. \quad (13)$$

Підсумовуючи (13) за  $v$  від 1 до  $\infty$ , отримаємо ймовірності безпомилкового ( $P_B$ ) та помилкового ( $P_H$ ) рішення задачі за критерієм “до першого успіху” у вигляді

$$\left. \begin{aligned} P_B &= (S_1 + S_2 b_1) a_3 / p_0 = 1 - P_{II}, \\ P_{II} &= [(S_1 + S_2 b_1) a_4 + (S_2 + S_1 a_2) b_4] / p_0 \end{aligned} \right\}, \quad (14)$$

де  $p_0 = 1 - q_0$ .

Ці вирази приводяться до вигляду

$$\left. \begin{aligned} P_6 &= \frac{(S_1 p_2 + S_2 p_{21}) p_{13}}{p_1 p_2 - p_{12} p_{21}} \\ P_{II} &= \frac{S_1 (p_{14} p_2 + p_{12} p_{24}) + S_2 (p_{21} p_{14} + p_{24} p_1)}{p_1 p_2 - p_{12} p_{21}} \end{aligned} \right\}, \quad (15)$$

де  $p_{ii}$  та  $p_i$  визначені в (5) через вихідні дані (4).

Аналітичні залежності (13), (15) для розрахунку показників безпомилковості рішення задач в контурі перервного ПФ систем отримані для бінарного стану об'єкта управління. Коректність підсумкових виразів (15) підтверджується здійснимістю нормувальної вимоги:  $P_D + P_F = 1$ .

## 5. Аналіз отриманих граничних виразів

Позначимо ймовірність безпомилкового виконання робіт в стані 1 через  $P$ , ймовірність відновлення правильного функціонування системи із стану 2 через  $B$  та застосуємо припущення про рівність ймовірностей правильних рішень при контролі  $K^1 = K^2 = K$ . Можливо показати, що ймовірність безпомилкового рішення задачі в цьому випадку буде

$$P_{\bar{b}} = \frac{[S_1(1-K) + KB]PK}{PK[1 - K(1-B)] + (1-P)(1-K)}. \quad (16)$$

Якщо відновлення безпомилкове ( $B = 1$ ), то маємо

$$P_B = \frac{[S_1(1-K) + K]PK}{PK + (1-P)(1-K)}. \quad (17)$$

При додатковому припущенні про початкове правильне функціонування системи (ОУ) приходимо до відомого [4] часткового випадку

$$P_b = \frac{PK}{PK + (1-P)(1-K)}. \quad (18)$$

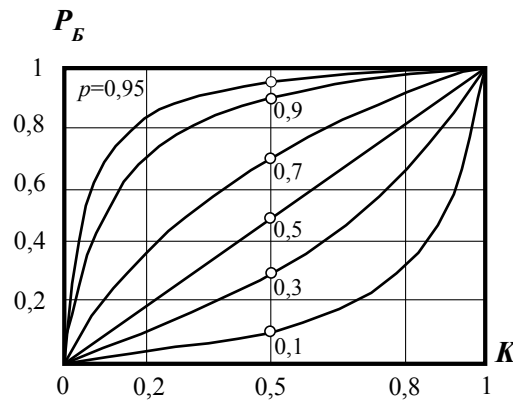


Рис. 10.

Тут в чисельнику – ймовірність сумісного безпомилкового виконання робочої й контрольної операцій, в знаменнику – ймовірність  $p$  завершення процесу на одному його кроці. Для цього випадку справедливі зростаючі залежності (рис. 10), де  $K = 0,5$  – характерна точка: зліва від неї  $P_B < P$ , тобто *безпомилковість рішення задачі з контуром зворотного зв'язку менше безпомилковості контрольованих дій*. Це спростовує відомий постулат, що іноді зустрічається, про універсальну корисність зворотного зв'язку в перервних процесах функціонування ОТС: **зворотній зв'язок може бути шкідливим** [10]. В розглянутому випадку позитивний ефект  $P_B > P$ , коли  $K > 0,5$  і тим більше, чим більш безпомилковий контроль (в ідеалі  $P_B = 1$ ) при  $K = 1$ ). Характерна зміна кривих від зігнутих при  $p \leq 0,5$  до випуклих при  $p > 0,5$ . Це відображає складність досягнення успіху при низькій кваліфікації виконавців, яких контролюють, а з іншого боку, – меншу значимість контролю виконавцями, які мають високу кваліфікацію.

При безпомилковому виконанні ( $P = 1$ ) контроль не потрібний: *висока кваліфікація не потребує контролю*. В цьому випадку із (16) слідує

$$P_B = \frac{S_1(1-K) + K^2B}{(1-K + KB)K} \leq P = 1.$$

Тільки при  $K = 1$   $P_B = P = 1$  що в згоді з дійсним досвідом. Разом з тим, без зворотного зв'язку безпомилковість визначається робочою операцією та не може бути вищою. Можливості підвищення безпомилковості формуванням контурів зворотного зв'язку в перервних ПФ поясними розрахунками.

**Приклад 1.** Нехай  $S_1 = K = B = 0,9$ ;  $P = 0,6$ . Ймовірність безпомилкового виконання задачі без ЗЗв складає  $P_B = S_1P = 0,54$ . З введенням контуру безпомилковості по (16) отримаємо

$$P_B = \frac{(0,09 + 0,81)0,54}{0,54(1 - 0,09) + 0,04} = 0,374,$$

що на 37,4% вище.

**Завдання:** при  $S_1 = 1$ ;  $B = 0,9$ ;  $P = 0,6$  найти число  $n$  зворотних зв'язків, що охоплюють (рис. 11) контрольовані роботи з ймовірністю безпомилкового контролю  $K = 0,8$  для забезпечення ймовірності безпомилкового виконання задачі у цілому не менше 0,95.

**Рішення.** При  $S_1 = 1$  формула (16) для першого контуру перетворюється до виду

$$P_B(1) = \left\{ 1 + \frac{1-K}{K-K^2(1-B)} \left( \frac{1}{P} - 1 \right) \right\}^{-1}, \quad (19)$$

де  $P$  – ймовірність безпомилкового виконання робочої дії ( $P$ ).

Підстановкою вихідних даних отримаємо

$$P_B(1) = \left\{ 1 + \frac{0,2}{0,8(1-0,8 \cdot 0,1)} \cdot \frac{2}{3} \right\}^{-1} = \left( 1 + 0,272 \cdot \frac{2}{3} \right)^{-1} = 0,847.$$

Другий рівень контролю охоплює перший контур в якості робочих дій (пунктир на рис. 11). Підставляючи в (23) значення  $P = 0,847$ , знаходимо

$$P_B(2) = \left( 1 + 0,272 \cdot \frac{0,153}{0,847} \right)^{-1} = 0,953,$$

що більше чим вимагається. Отже  $n = 2$ , тобто достатньо двох рівнів контролю виконання робочої дії.

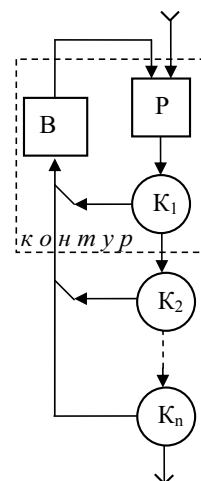


Рис. 11.

## 6. Методика розробки показника безпомилковості

1. Представлення процесу функціонування системи, що досліджується, у вигляді графу робіт з вершинами-роботами (розумовими або фізичними діями), що виконуються ерготичними або технічними елементами системи при прийнятті та/або виконанні рішень (приклад рис. 3).



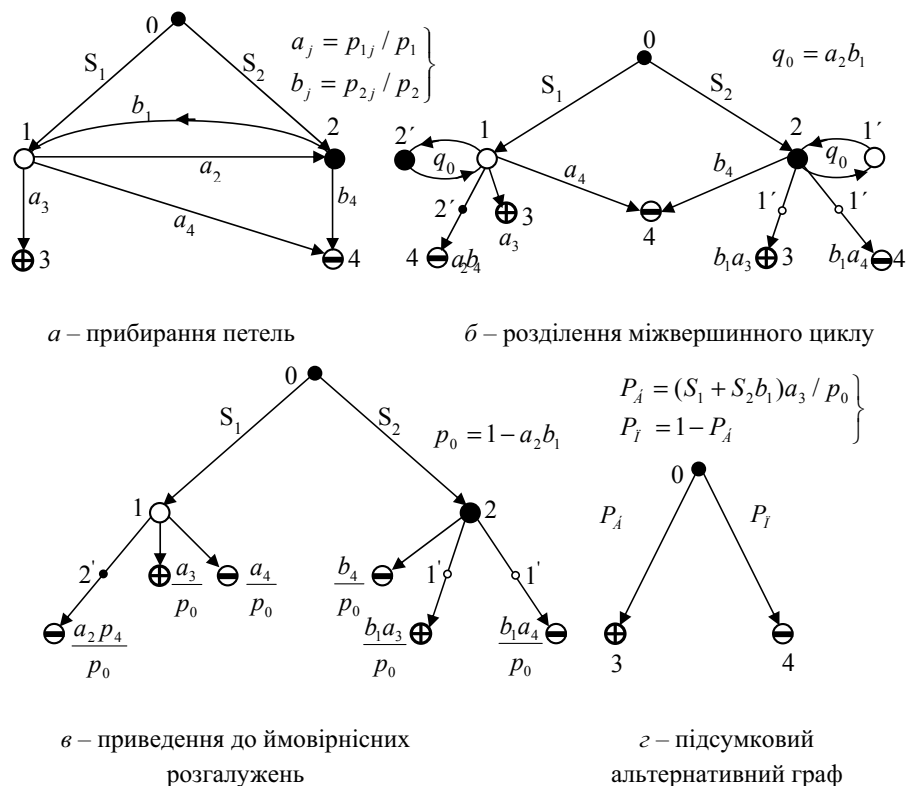


Рис. 12.

2. Визначення змісту та числа станів, що враховуються, об'єкту управління системи, задавання вихідних даних у вигляді матриць ймовірностей та початкового стану ОУ і матриць умовних ймовірностей його зміни типу (4).

3. Розробка детального графу подій з дугами-роботами, співвіднесеного одноразовому виконанню робіт, що моделюються, з одним проходженням по зворотному зв'язку (приклад рис. 4), вказування характеристик по дугам (стрілкам) графу з уточненням їх відповідності реальному процесу.

4. Виділення в цьому графі шляхів із вершин початкових станів у висячі, поглинаючі вершини з заміною кожного шляху дугою. Об'єднання тих із них, які ведуть в однакові вершини. Згортка шляхів супроводжується еквівалентними аналітичними перетвореннями вихідних характеристик. Суміщення висячих вершин з відповідними їм вершинами по станам – відображення петель при цих вершинах. (приклад рис. 5, формули (5)).

5. Прибирання петель при вершинах графу з нормуванням ймовірностей кожної дуги, що виходить із вершини  $i$ , на ймовірність  $p_i = 1 - q_i$  не входу в петлю (приклад рис. 12а).

6. Заміна міжвершинних контурів петлями при вершинах  $i$  з додатковими із них виходами в поглинаючі вершини  $k$  через суміжні вершини  $j$  (рис. 12б).

7. Повторення п.5 з прибиранням створених петель та перетворенням характеристик дуг із відповідних вершин в еквівалентні. Приведення графу подій до ймовірнісних розгалужень при вершинах без петель і контурів (рис. 12в).

8. Виявлення та об'єднання шляхів із початкової вершини в однотипні поглинаючі вершини. Приведення графу до альтернативного вигляду з врахованими поглинаючими вершинами з підсумковими ймовірностями безпомилкового / помилкового рішення задачі (рис. 12г, формули (15)).

### Висновки

1. Запропоновано категорійне визначення поняття “похибка”, що узагальнює помилку людини та збій техніки з розділенням відповідальності за **прийняте рішення** від відповідальності за **виконання** прийнятого рішення.

2. На відміну від [11], застосовані три методи виводу аналітичних залежностей для показника **безпомилковості** рішення задач ОТС:

- складанням та чисельним рішенням системи рекурентних рівнянь, співвідносних динаміці станів системи;
- отриманням формул з оцінки ймовірностей станів системи на довільний крок її функціонування;
- розробкою нових граничних виразів для оцінки безпомилковості рішення задач ОТС при великому числі звернень за зворотним зв'язком.

3. На прикладі типового контуру **перервного** управління отримані математичні моделі його безпомилковості, показані області підвищення правильності функціонування системи й області збільшення потоку небезпечних похибок.

4. Запропонована методика та математичні моделі доцільно застосовуватися при кількісному обґрунтуванні та апробації творчих рішень, що направлені на

підвищення ефективності ОТС з перервними контурами управління.

Наступні дослідження пропонується спрямувати на розробку математичних моделей та методики оцінки моментних час-ресурсних характеристик виконаних дій (робіт, операцій, заходів, задач).

### СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Вентцель Е.С. Исследование операций/ Е.С.Вентцель.М.: Советское радио, 1972, – 552 с.
2. Информационно-управляющие человеко-машинные системы: исследование, проектирование, испытания: справочник /А.Н. Адаменко, А.Т. Ашеро́в, И.Л. Бердни́ков и др.; под. ред. А.И.Губинского и В.Г. Евграфова.–М.: Машиностроение, 1993.–528 с.
3. Чабаненко П.П. Становление и развитие аппарата функциональных сетей /П.П. Чабаненко //Збірник наукових праць. – Севастополь: Севаст. військ.-морськ. інст-т ім. П.С. Нахімова, 2003. – Вип. 2. – С. 160 – 168.
4. Гвоздик М.И. Оптимизация организационно-технических систем ВМФ. Методы, алгоритмы, программы /М.И.Гвоздик, В.Г. Евграфов, Е.Б. Цой. – Петродворец: ВВМУРЭ им. А.С. Попова, 1997. – 223 с.
5. Ашеро́в А.Т. Эргономика информационных технологий: уч.пос. /А.Т. Ашеро́в, С.А. Капленко, В.В. Чубук. – Харьков: ХГЭУ, 2000. – 224 с.
6. Барченко Н.Л. Ергономічне забезпечення діалогової людино-машинної взаємодії в модульних системах електронного навчання. Автореф. дис. ... канд. тех. наук: 05.01.04 / Харківський національний університет міського господарства.Харків. 2019.25 с.
7. Lavrov E. Development of models for the formalized description of modular e-learning system for the problems on providing ergonomic quality of human-computer interaction/E. Lavrov, N.Barchenko, N.Pasko, I.Borozenec//Eastern-European journal of enterprise technologies.-2017.-Vol.2/2(86),-P.4-13
8. Современные проблемы управления силами ВМФ: Теория и практика. Состояние и перспективы/ И.В.Соловьев и др.//Под ред. В.И.Куроедова.– С-Пб.: Политехника, 2006. – 432с.
9. Batalla J.M. Conception of ID layer performance at the network level for Internet of things, Springer J. Personal and Ubiquitous Computing, 18 (2)(2014) 465-480.
10. Чабаненко П.П., Розгонаєв С.М. Оцінювання ефективності бойової системи за принципами відповідності та зворотного зв'язку/ П.П.Чабаненко, С.М.Розгонаєв// Наука і оборона .– 2018. – №3. С.16-23.
11. Чабаненко П.П. Исследование безопасности и эффективности функционирования систем человек-техника эргосетями/П.П.Чабаненко – Севастополь.: АВМС им.П.С. Нахимова, 2012.–162 с.

Стаття надійшла до редколегії 01.10.2018 р.

**Рецензент Г.С. Залевський**, д-р техн. наук, с.н.с.  
(Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків)

**Рецензент О. О. Расстригин**, д-р техн. наук, с.н.с.  
(Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)  
<https://orcid.org/0000-0002-1482-6111>

УДК 623.094

DOI: [https://doi.org/10.34169/2414-0651.2019.1\(21\).75-77](https://doi.org/10.34169/2414-0651.2019.1(21).75-77)**С.М. ПЕТРУК,****О.В. ПАЩЕНКО,***(Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)*

## **Методичні основи збільшення ресурсних показників визначених об'єктів озброєння та військової техніки**

*У статті на основі аналізу науково-технічних, виробничо-технологічних та нормативно-правових аспектів запропоновано комплекс заходів щодо продовження (збільшення) ресурсних показників об'єктів озброєння і військової техніки та показано, що реалізація таких заходів повинна базуватися на теорії прогнозування характеру зміни їх технічного стану. Представлено відповідний методичний підхід, який ґрунтується на ортогональних представленнях випадкового процесу В. С. Пугачова*

*Ключові слова: метод Пугачова, прогнозування, ресурсні показники, технічний стан.*

*В статье на основании анализа научно-технических, производственно-технологических и нормативно-правовых аспектов предложен комплекс мероприятий по продлению (увеличению) установленных ресурсных показателей объектов вооружения и военной техники, а также созданию всесторонних условий их последующей безопасной эксплуатации без авторского надзора со стороны разработчиков. Анализ методов прогнозирования, которые могут быть применены при прогнозировании технического состояния изделий вооружения и военной техники, свидетельствует, что наиболее приемлемым в этом смысле является метод В. С. Пугачева, основанный на ортогональных представлениях случайного процесса, который исследуется.*

В статье на основании анализа научно-технических, производственно-технологических и нормативно-правовых аспектов предложен комплекс мероприятий по продлению (увеличению) установленных ресурсных показателей объектов вооружения и военной техники, а также созданию всесторонних условий их последующей безопасной эксплуатации без авторского надзора со стороны разработчиков. Анализ методов прогнозирования, которые могут быть применены при прогнозировании технического состояния изделий вооружения и военной техники, свидетельствует, что наиболее приемлемым в этом смысле является метод В. С. Пугачева, основанный на ортогональных представлениях случайного процесса, который исследуется.

Основною проблемою сьогодення є загальна тенденція щодо вичерпання встановлених розробником ресурсних обмежень за строком служби та наробітку практично для всієї номенклатури озброєння та військової техніки (ОВТ), що експлуатується в Збройних Силах України в умовах відсутності авторського супроводження. Очевидно, що вирішення зазначеної проблеми потребує нових підходів щодо організації її технічної експлуатації [1].

У загальному випадку ефективність процесу технічної експлуатації систем ОВТ визначається значною кількістю факторів. Це, насамперед, досконалість наявної програми технічного обслуговування і ремонту, глибина опрацювання і повнота забезпечення вимог з надійності та експлуатаційної технологічності; рівень виробничо-технічної бази експлуатантів і ремонтних підприємств.

Кардинальна перебудова процесів технічної експлуатації озброєння та військової техніки напряму залежить від успіхів у розробці сучасної теорії на базі наукових досягнень. Вивчення і теоретичне узагальнення механізмів фізичних процесів, що відбуваються у матеріалах, елементах конструкції, функціональних системах та агрегатах, а також усвідомлення їх загальних закономірностей дозволяють зробити експлуатаційну науку точною [3]. А це, в свою чергу, дає можливість у більш повній мірі використати потенційні ресурсні можливості визначених зразків ОВТ з оптимальними витратами.

Метою статті є розробка науково-методичних рекомендацій та визначення організаційних умов і заходів щодо максимального використання закладених запасів працездатності об'єктів ОВТ.

Очевидно, що для визначення подальших шляхів реалізації технічної політики щодо забезпечення максимально можливого рівня справності існуючого парку ОВТ в умовах прогнозованих видатків необхідно здійснювати управління їх ресурсними показниками та оцінити перспективи подальшого використання за призначенням на прогнозований період. При цьому основу комплексу відповідних заходів складає формування оптимальних (за критерієм “ефективність – вартість”) шляхів відновлення справності ОВТ на основі розробки індивідуальних програм управління її ресурсними показниками. Тобто, по кожному зразку ОВТ буде

прийнято науково обґрунтоване рішення щодо доцільності його подальшої експлуатації на визначений термін з урахуванням реальної фінансово-економічної ситуації.

В той же час аналіз технічного стану (ТС) виробів ОБТ різноманітного призначення дозволяє прийти до висновку, що на сьогодні обмежувати тривалість експлуатації і наробіток ОБТ доводиться через вплив факторів зовнішнього середовища на їх технічний стан, накопичення в конструкції пошкоджень від втоми, а також фізичного старіння матеріалів, що може створити реальну загрозу безпечної її експлуатації [3,4].

Нормативно врегульована в Україні система підтримання справності виробів ОБТ, за якими здійснюється авторський нагляд [1], з одного боку, дозволила протягом останніх років суттєво вплинути на рівень її справності, а, з іншого – призвела до того, що на сьогодні строки служби деяких зразків ОБТ майже вдвічі (а іноді і більше) перевищують ті, що первинно були встановлені розробником та (або) виробником.

Враховуючи, що механізми старіння в складних технічних системах, до яких належить ОБТ, вивчено недостатньо повно у зв'язку зі специфічними особливостями як самих об'єктів дослідження, так і процесів, що в них протікають, дослідження щодо подальшого продовження ресурсних показників виробів ОБТ повинно спиратися на розвинену теорію прогнозування характеру зміни їх технічного стану (ТС).

При цьому необхідно враховувати, що більшість систем ОБТ є системами з часовою надлишковістю [5], які мають певні специфічні риси, а саме:

- в таких системах відмови можуть не призводити до зриву функціонування;
- при виконанні деяких умов щодо тривалості відновлення працездатності, наслідки відмов можуть бути несуттєвими і фактично не впливати на якість виконання завдань за призначенням.

Отже часова надлишковість систем ОБТ у значній мірі забезпечує їх нормальне функціонування в умовах впливу зовнішніх факторів.

Аналіз методів прогнозування, які можуть бути застосовані при прогнозуванні ТС систем ОБТ свідчить, що їх можна класифікувати в залежності від моделі представлення процесу, що досліджується [6]. Як правило, цей процес є випадковим по своїй сутності через вплив багатьох внутрішніх та зовнішніх факторів.

Однією з практично можливих ситуацій є випадок, коли апріорні дані про об'єкт відсутні, а інформація щодо його ТС вичерпується деяким відрізком реалізації відповідного процесу спостереження. Як правило, спостереження представляються у вигляді ряду значень, отриманих в дискретні моменти часу (без помилок). В цьому випадку використовується детермінований підхід до вирішення задачі прогнозування, при якому основне завдання зводиться до відшукування аналітичного виразу, що достатньо точно відображає досліджувану залежність, після чого продовження реалізації на будь-який заданий інтервал здійснюється відомими методами апроксимації [7].

Завдання відшукування апроксимуючого виразу відоме в теорії чисельного аналізу як завдання про наближення функцій [8]. Стосовно проблеми прогнозу вона має дві основні модифікації. Одна з них – використання для прогнозування інтерполяційних поліномів. При цьому, ступінь апроксимуючого полінома дорівнює числу відомих значень параметру, за яким ведеться спостереження. Для рішення широко застосовуються інтерполяційні поліноми Лагранжа і Ньютона, тригонометричні поліноми і тому подібне. Як показано в [9], цей метод виключно простий в обчислювальному відношенні та універсальний.

Зазначений підхід застосовується у випадку, коли детермінований характер залежності дійсно має місце і вираз для цієї залежності визначено достатньо точно. Проте, на практиці ці умови виконуються не завжди, оскільки число чинників, які впливають на об'єкт досліджень, як правило, велике, а результати їх дії носять випадковий характер. У цій ситуації точність розв'язання задачі прогнозування швидко падає із зростанням інтервалу прогнозу, причому оцінити можливу помилку не представляється можливим. Це обмежує область застосування детермінованого підходу.

Значно більш загальний характер носить стохастична модель, яка враховує випадковий характер змін, що відбуваються в об'єкті під впливом дестабілізуючих чинників.

При цьому реалізація  $x(t)$  розглядається, як реалізація випадкового процесу  $X(t)$ , яким описуються випадкові зміни стану об'єкту в часі, а метод екстраполяції (прогнозування) залежить від характеру цього процесу і повноти його статистичного опису [10].

Основною відмінністю цього підходу є те, що у якості апріорних даних використовується імовірнісний опис процесу  $X(t)$ . Крім того, в даному випадку вже не можна нехтувати випадковим характером величини інтервалу  $\Delta t$ , на який здійснюється прогноз, тому методи прогнозу, що використовуються, необхідно оцінювати з погляду повноти отриманого імовірнісного опису цієї величини.

Цінність того або іншого методу прогнозу, в даному випадку, багато в чому визначається тим, наскільки повний імовірнісний опис випадкової величини можна отримати за його допомогою.

Як показує аналіз, процес технічної експлуатації ОБТ у загальному випадку відноситься до суттєво нестационарних випадкових процесів.

Одним з методів, який дозволяє вивчати як стаціонарні, так і суттєво нестационарні процеси є метод заснований на ортогональних представленнях випадкового процесу, що вперше приводиться в працях В. С. Пугачова [11]. При застосуванні методу використовується опис випадкового процесу  $X(t)$ , у вигляді

$$X(t) = m(t) + \sum_{\nu=1}^{\infty} V_{\nu} \varphi_{\nu}(t)$$

де  $m(t)$  – математичне очікування процесу;

$V_v$  – випадкові коефіцієнти, що не корелюються між собою;

$\varphi_v(t)$  – не випадкові функції.

Таке представлення випадкового процесу має назву канонічного розкладання Пугачова і забезпечує:

існування практично для будь-якого випадкового процесу;

дискретність представлення процесу у вигляді (1), що робить його зручним для моделювання.

Некорельованість коефіцієнтів  $V_v$  дозволяє звести завдання прогнозування ТС систем ОБТ до моделювання випадкових величин із заданими законами розподілу з подальшим виконанням елементарних математичних операцій над ними відповідно до виразу (1). Результатом прогнозування ТС зазвичай виступає імовірність безвідмовної роботи  $P(\Delta t)$  на інтервалі  $\Delta t$ , на який здійснюється прогноз.

Таким чином, дослідження щодо визначення можливості продовження (збільшення) встановлених ресурсних показників систем ОБТ повинні базуватися на:

розробці відповідного науково-методичного апарату для прогнозування їх безвідмовної роботи на протязі наперед заданого проміжку часу;

проведенні комплексу досліджень з визначення технічного стану найбільш критичних (ресурсообмежувачих) вузлів, агрегатів та комплектувальних виробів систем ОБТ, а також їх ресурсних випробувань;

відпрацюванні практичних пропозицій щодо відновлення справності зазначених вузлів, агрегатів та комплектувальних виробів систем ОБТ за критерієм “ефективність – вартість”;

обґрунтуванні заходів щодо забезпечення подальшої експлуатації об’єктів у продовжений період.

В основу розв’язання зазначеного питання доцільно покласти загальні положення методології дослідження складних технічних систем, які включають:

використання системного підходу;

проведення декомпозиції складної технічної системи на окремі складові;

розробку адекватної математичної моделі об’єкта дослідження;

визначення показників (критеріїв) якості і проведення їх ранжирування за впливом на безпеку експлуатації;

розробку високоточних методів оцінювання кількісних показників, що характеризують визначені критерії якості;

розробку сучасних методів прогнозування зміни у часі кількісних показників технічного стану.

З урахуванням складності і багатогранності науково-технічних аспектів реалізації відповідних заходів їх доцільно реалізовувати послідовно з поетапним корегуванням з метою поступового розширення і поглиблення подальших досліджень на основі використання результатів, отриманих на попередніх етапах.

## Висновки:

1. Збільшення фактичного ресурсу систем ОБТ можливо за рахунок наявності залишків втомної міцності елементів їх конструкції.

2. На підставі аналізу методів прогнозування, які можуть бути застосовані при прогнозуванні ТС систем ОБТ, запропоновано підхід, що забезпечує опис визначеного об’єкта спостереження за допомогою канонічного розкладання В.С. Пугачова. Результатом прогнозування в даному випадку є імовірність безвідмовної роботи об’єкта протягом інтервалу, на який здійснюється прогноз.

## СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Постанова Кабінету Міністрів України від 26 липня 2018 р. №591 ”Про внесення змін до Порядку відновлення, ремонту, модернізації, збільшення встановленого ресурсу та продовження строку служби (зберігання) озброєння, військової і спеціальної техніки, за якими не здійснюється авторський нагляд<sup>41</sup>.
2. Goranson Ulf G., Hall J., Maclin J.R., Watanabe R.T. Long Life Damage Tolerant Jet Transport Structures. American Society for Testing and Materials. Fatigue and Fracture Committees. Symposium on “Design of Fatigue and Fracture Resistant Structures”. Bal Harbour, Florida. November 10-11, 1980.
3. ASM Handbook. Volume 19. Fatigue and Fracture. The Volume was prepared under the direction of the ASM International Handbook Committee. 1996.
4. Metallic Materials Properties Development and Standardization. Report No. DOT/FAA/AR-MMPDS-01. January 2003.
5. Креденцер Б.П. Надійність систем з надлишковістю: методи, моделі, оптимізація: Монографія//Креденцер Б.П., Буточнов О.М., Міночкін А.І., Могілевич Д.І. // – К.: Фенікс, 2013. – 342 с.
6. Кудрицкий В.Д. Фильтрация, экстраполяция и распознавание случайных функций. – К.: ФАДА, ЛТД, 2001. – 176 с.
7. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. – М.: Наука, 1978. – 400 с.
8. Тихонов В.И. Миронов В.А. Марковские процессы. – М.: Сов. Радио, 1977. – 486 с.
9. Орлов А.И. Прикладная статистика. Учебник / А.И. Орлов – М.: Экзамен, 2004. – 656 с.
10. Колмогоров А.Н. Интерполирование и экстраполирование стационарных случайных последовательностей. – Изв. АН СССР. Сер. Матем. 1941, т5, №1
11. Пугачев В.С. Теория случайных функций. – М.: Физматгиз, 1962. – 764 с

Стаття надійшла до редколегії 01.10.2018 р.

**Рецензент С.В. Лапицький**, д-р техн. наук, професор (Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)  
<https://orcid.org/0000-0003-2645-0256>

УДК 347.77

DOI: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.1\(21\).89-91](https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.1(21).89-91)**В.О. КОМАРОВ,***начальник науково-дослідного відділу патентно-ліцензійної, винахідницької та раціоналізаторської діяльності у Збройних Силах України***О.О. МОСКВІТІН,** кандидат технічних наук,  
*провідний науковий співробітник***М.П. ЯРЕМЕНКО,** старший науковий  
*співробітник***Т.Ю. КУРОВСЬКА,** старший науковий  
*співробітник**(Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки ЗС України, м. Київ)*

## Нормативно-правове супроводження процесу створення об'єктів права інтелектуальної власності в США

В статті міститься аналіз чинних в США стратегічних підходів та порядку функціонування процесу захисту об'єктів права інтелектуальної власності. Розглянуті спільні скоординовані зусилля Конгресу, Адміністрації Президента та інших гілок влади, приватного сектору США щодо інтелектуальної власності з метою досягнення успіху інноваційної політики цієї країни. В статті також наведені результати досліджень Інституту оборонного аналізу США щодо врахування в політиці оборонних закупівель вимог стосовно охорони інтелектуальної власності.

**Ключові слова:** інтелектуальна власність, об'єкти права інтелектуальної власності, оборонні закупівлі, озброєння та військова техніка.

В статье содержится анализ действующих в США стратегических подходов и порядка функционирования процесса защиты прав интеллектуальной собственности. Рассмотрены совместные скоординированные усилия Конгресса, Администрации Президента и других ветвей власти, частного сектора США относительно интеллектуальной собственности с целью достижения успеха инновационной политики этой страны. В статье также приведены результаты исследований Института оборонного анализа США относительно учета в политике оборонных закупок требований по защите интеллектуальной собственности.

**Ключевые слова:** интеллектуальная собственность, объекты права интеллектуальной собственности, оборонные закупки, вооружение и военная техника.

Підписання Президентом України 31 січня 2019 року Закону України “Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо здійснення закупівель продукції, робіт і послуг оборонного призначення за імпортом”, який був прийнятий Верховною Радою України 17 січня 2019 року, передбачає можливість для державного замовника за оборонним замовленням отримати повноваження здійснювати імпорт продукції оборонного призначення [1].

Таким чином, перед Міністерством оборони України постає нагальне завдання щодо детального ознайомлення з діючими керівними принципами в сфері розробки спільних домовленостей та укладення контрактів і договорів у галузі озброєнь та військової техніки (далі – ОВТ) в країнах, які наша держава може розглядати в якості потенційних постачальників продукції оборонного призначення.

Передбачається, що закон спростить передачу техніки, озброєння та боєприпасів для української армії від іноземних виробників (постачальників). Критичною умовою реалізації цього закону є повноваження Міністерства оборони закуповувати таку продукцію безпосередньо, без залучення посередників спецекспортерів Державної компанії “Укроборнпром”.

Під час Мюнхенської безпекової конференції 2019 року Президент України Петро Порошенко зустрівся з Віце-президентом США Майком Пенсом. У коментарі представникам ЗМІ після зустрічі Глава держави, серед іншого, відзначив, що “... Україна є надійним і стратегічним партнером США. Ми твердо розраховуємо на співпрацю, в тому числі в оборонній сфері, в тому числі і щодо постачання Україні всіх видів озброєння, після того як ми прийняли закон, який дозволяє Міністерству оборони напряму забезпечити постачання зброї...” [2].

Аналіз чинних в США вимог щодо міжнародних передач ОВТ свідчить про належне місце, яке займають в них питання, пов'язані з нормативно-правовим супроводженням процесу захисту об'єктів права інтелектуальної власності (далі – ОПІВ).

Метою цієї статті є намагання висвітлити ключові принципи, підходи та порядок функціонування процесу захисту в США ОПІВ для врахування відповідними фахівцями під час адаптування вітчизняної системи закупівлі ОВТ до євроатлантичних критеріїв.

У статті проаналізовано Річний звіт Координатора інтелектуальної власності США (далі – Звіт), який був наданий Конгресу США у березні 2018 року [3], а також низка інших видань у цій галузі, які висвітлюють запровадження принципів захисту інтелектуальної власності (далі – ІВ) при закупівлі ОВТ [4].

Зокрема, в Звіті зазначається, що «... протягом року Президент Трамп і його Адміністрація працювали над просуванням захисту прав ІВ та їх дотриманням як у країні, так і за кордоном. Як складову інтегрованого підходу Адміністрація Президента США розглядає стратегію та політику у сфері ІВ, як ключ до забезпечення майбутнього інноваційної економіки та підтримки конкурентних переваг...”

Варто відзначити, що Звіт про ІВ Адміністрації Президента США Конгресу, розроблений Офісом Координатора інтелектуальної власності США (Executive Office of the President of the United States of America, UNITED STATES INTELLECTUAL PROPERTY ENFORCEMENT COORDINATOR – US IPEC), об'єднує та віддзеркалює спільні скоординовані зусилля на пряму захисту ІВ Білого дому, департаментів торгівлі, юстиції, національної безпеки, казначейства, охорони здоров'я та Служби соціального забезпечення та сільськогосподарства, Управління торгового представника США та Управління охорони авторського права США. Американські експерти виходять з розуміння, що для того, щоб підхід Сполучених Штатів до ІВ та інноваційної політики був успішним, він повинен об'єднувати зусилля всіх гілок влади, приватного сектору і міжнародних партнерів.

При цьому ключовими елементами, на які спирається Адміністрація Трампа у всіх сферах політики ІВ, вважаються патенти, авторські права, торгові марки та комерційні таємниці, як всередині країни, так і за її межами. Адміністрація Президента США також визнає, що для того, щоб США зберегли свою майбутню економічну конкурентоспроможність, необхідно також стратегічно мислити і розглядати винахідницьку і творчу спроможність Америки як такі, що США повинні захищати, заохочувати та визначати пріоритетними.

#### *Стратегія США щодо інтелектуальної власності*

У Звіті зазначено "... США захищають авторські права, патенти, торговельні марки, комерційні таємниці та іншу ІВ, яка є дуже важливою для безпеки і процвітання Америки. США будуть відстоювати свої цінності, захищати працівників, інновації, творіння та винаходи, які забезпечують нашу чудову країну ...", що є визнанням вагомості ІВ та її захисту для США. Фундаментальне значення ІВ та її захисту для США зафіксовано в Статті 1 Розділу 8 Конституції США, яка визнає, що "... ІВ лежить в основі майже всіх аспектів економіки – вона підтримує гідну оплату робочих місць, підтримує мистецтво, науку і технології, створює рамки, що дозволяють процвітати новим галузям та інноваціям..."

У Звіті наголошується, що "... США прагнуть захищати ІВ американських компаній і забезпечують рівні умови для наших працівників та ІВ і, що США більше не можуть миритися з недобросовісною торговою практикою, що краде американську роботу, багатство та ІВ ...".

Відповідно до вимог Адміністрації Президента США, US IPEC разом з іншими офісами, у координації з відділами та агенціями виконавчої влади, працює над просуванням політики зростання, пропагандою та захистом великої конкурентної переваги – інноваційної економіки США. При цьому основні зусилля зосереджені на координації та розробці загальної політики та стратегії ІВ США, сприянні інноваціям та творчості, а також забезпеченні ефективного захисту ІВ та правозастосуванні всередині країни та за її кордоном.

Стратегія ІВ США охоплює широке коло органів та департаментів виконавчої влади, з метою забезпечення цілеспрямованої та належної координації зусиль уряду з метою просування та захисту ІВ. При цьому стратегічний підхід Адміністрації Президента США включає: взаємодію з торговими партнерами; ефективне використання всіх юридичних органів, включаючи інструменти торгівлі; розширені правоохоронні дії та співробітництво; партнерство з приватним сектором та іншими зацікавленими сторонами. Уряд США застосовує цілеспрямований, практичний і комплексний підхід до вирішення політики та стратегії ІВ, мета якого полягає в тому, щоб забезпечити рівні умови для американських новаторів і творців, де їх інновації і винаходи поважають і захищають, а також запровадити систему, яка дозволить американським компаніям працювати на вільному, справедливому і відкритому ринку.

З цією метою в США створено Стратегічну групу з питань ІВ, яка регулярно об'єднує US IPEC, Національну економічну Раду (National Economic Council – NEC), Раду національної безпеки National Security Council – NSC), Офіс політики з питань науки і технології (Office of Science and Technology Policy – OSTP), Раду Економічних консультантів (Council of Economic Advisors – CEA), Офіс Віце-президента (Office of the Vice President – OVP), Офіс торгового представника США (Office of the U.S. Trade Representative – USTR), а також інші відповідні офіси США та департаменти і агенції. Оскільки політика щодо ІВ у міжнародному та внутрішньому контекстах впливає на багато департаментів та відомств, США управляє процесом розробки спільної політики, щоб визначити напрями дій та розробити рекомендації Президенту США для забезпечення належного представлення та розгляду всіх поглядів.

Дії Адміністрації Президента США у цьому напрямі охоплюють безліч виконавчих відділів і агентств, кожен з яких вирішує як різні, так і дублюючі аспекти стратегії та політики федерального Уряду щодо ІВ, включаючи високопоставлених посадових осіб департаментів торгівлі (Departments of Commerce), юстиції (Departments Justice), казначейства (Treasury), національної безпеки (Departments of Homeland Security), Держави (Departments of State), Сільськогосподарства (Departments of Agriculture) і служб охорони здоров'я (Health and Human Services) та соціальних служб (U.S. Copyright Office) тощо.

Крім того, згідно із законом, виконавча влада має три призначені Президентом і затверджені Сенатом посади, які зосереджені на ІВ, а саме: Координатор виконавчої інспекції з питань ІВ в Адміністрації Президента (Intellectual Property Enforcement Coordinator in the Executive Office of the President); заступник Міністра торгівлі з питань ІВ (Undersecretary of Commerce for Intellectual Property) та Директор відділу патентів і торговельних марок США у Міністерстві торгівлі – головний переговорник з інновацій та ІВ в Управлінні науки і технологічної політики (Chief Innovation and Intellectual Property Negotiator at USTR).

У Адміністрації Президента федеральні відомства відіграють важливу роль у сфері політики та стратегії ІВ. Міністр торгівлі курує кілька агентств, які мають важливі зобов'язання щодо ІВ і має вирішальний голос, що формує політику ІВ як у США, так і за кордоном. Головним серед агентств Міністерства торгівлі є Офіс політики у сфері науки та технології (Office of Science and Technology Policy – USPTO) зі статутним повноваженням консультувати Президента через Міністра торгівлі, з національних і деяких міжнародних питань ІВ, а також консультування Федеральних відділів та відомств з питань ІВ в США і захисту ІВ в інших країнах. Інші агентства, що працюють у сфері ІВ, включають Управління міжнародної торгівлі (International Trade Administration – ITA), Національне управління телекомунікацій та інформації (National Telecommunications and Information Administration – NTIA), а також Бюро промисловості та безпеки (Bureau of Industry and Security – BIS).

Адміністрація Президента США працює над тим, щоб зусилля федерального уряду в сфері ІВ були цілеспрямованими та узгодженими, а ресурси ефективно використовувалися. Оскільки Адміністрація Президента США працює для досягнення значного прогресу, то в цьому контексті постають три важливі питання, які завжди слід розглядати: – Що ми робимо добре? Що не працює? І що нам робити?

Адміністрація Президента США виходить з розуміння, що політика в сфері ІВ включає всі сфери ІВ – авторські права, патенти, торговельні марки та комерційні таємниці, тощо і охоплює майже всі сектори економіки. Такий стратегічний підхід дає зрозуміти, що економічне процвітання залежить від лідерства США в технології та творчості і саме тому необхідно захищати інноваційну економіку від тих, хто краде ІВ і несправедливо використовує інновації передових країн.

Оскільки Уряд США працює над просуванням американських економічних інтересів за кордоном, важливим компонентом зусиль із забезпечення правопорядку та захисту є вирішення питань торговельного правозастосування, доступу на ринок, конкуренції, цифрової торгівлі, кібербезпеки та законності у сфері ІВ. Американські новатори та творці повинні мати можливість працювати на зарубіжних ринках, які надають їм чіткі шляхи для захисту та використання своєї ІВ. Країнам і іноземним компаніям не слід дозволяти отримувати прибуток від крадіжки або незаконного присвоєння американської ІВ, включаючи крадіжку комерційної таємниці, порушення прав ІВ, піратство, примусову передачу технології або вимоги щодо локалізації. Крім того, американські власники брендів повинні мати повне і справедливе право на використання, щоб виробляти та продавати свою продукцію і використовувати свої права на ІВ, які зареєстровані по всьому світу, без обмежень.

На внутрішньому ринку Адміністрація Президента США працює над гарантуванням дотримання законів США про ІВ, які постійно оновлюються і сприяють американським інноваціям.

ІВ є невід'ємною частиною економічної конкурентоспроможності країни і зростання інноваційної економіки. Наприклад, авторські права є не тільки економічно важливими, але й ключовою частиною культури та суспільства. Необхідно мати добре функціонуючу систему авторських прав. Система авторських прав США ґрунтується на Конституції та побудована на багаторічній судовій практиці, статутах і нормативних актах. Адміністрація Президента США здійснює моніторинг зусиль щодо реформування авторських прав у Конгресі та співпрацює з зацікавленими сторонами в процесі розробки відповідних концепцій.

Крім того, добре функціонуюча патентна система є важливою для економіки. Адміністрація Президента США працює над: просуванням інновацій та забезпеченням ретельно підготовлених патентів; продовжує досліджувати можливості співпраці з зацікавленими сторонами щодо існуючих добровільних ініціатив, спрямованих на захист американської ІВ, а також для пошуку нових сфер співпраці; готова протистояти недобросовісній торговій практиці, використовуючи всі відповідні засоби від діалогу до інструментів правозастосування, та працювати з партнерами-однорумцями, щоб "...зберегти та модернізувати правила справедливого та взаємного економічного порядку, підкреслити справедливі заходи з примусу до торгівлі, коли необхідні, а також багатонаціональні зусилля, спрямовані на забезпечення прозорості та дотримання міжнародних стандартів у рамках торговельних та інвестиційних проектів"; розвиває питання інтелектуальної власності в багатьох міжнародних організаціях, включаючи Організацію економічного співробітництва та розвитку (Organization for Economic Cooperation and Development – OECD), Всесвітню організацію інтелектуальної власності (World Intellectual Property Organization – WIPO), Світову торговельну організацію (World Trade Organization – WTO), форум Тихоокеанського економічного співробітництва (Asia Pacific Economic Cooperation – APEC), Всесвітню організацію охорони здоров'я (World Health Organization – WHO) та інших міжнародних органів.

У вересні 2017 року в Декларації засідання міністрів країн-членів G7 з питань промисловості було визнано, що "...для розвитку інновацій, продуктивності, росту та конкурентоспроможності промисловості в цифровій економіці та індустріальній промисловості правозастосування ІВ є надзвичайно важливим, щоб захистити будь-які підприємства від підробок та піратства, незаконного привласнення комерційної таємниці та транснаціональної організованої злочинності...".

У 2017 році Глобальна академія інтелектуальної власності USPTO (Global Intellectual Property Academy – GIPA) розробила та надала програми розбудови спроможності, які стосувалися повного спектру питань захисту ІВ та правозастосування, включаючи забезпечення прав ІВ на національних кордонах, піратство в Інтернеті, експорт експрес-пошти, комерційну таємницю, політику щодо авторських прав, а також розгляд патентних і торговельних марок. Протягом року до цих



програм залучалося понад 4 тис. Урядових чиновників, суддів і прокурорів з 120 країн.

У 2017 році американські посольства в усьому світі продовжували вбачати ІВ, як невід'ємну частину їхніх двосторонніх політичних діалогів з урядами країн-господарів. Наприклад, дипломатичні установи США у всьому світі відзначали Всесвітній день інтелектуальної власності 26 квітня 2017 року, підкреслюючи важливість ІВ у сприянні інноваціям та економічному зростанню.

Бюро з авторських прав співпрацювало з іншими агентствами (такими як Державний департамент та USPTO) для участі у зустрічах з іноземними чиновниками або для того, щоб відвідувачі цих програм зустрічалися безпосередньо з Управлінням авторських прав, обговорювали та обмінювалися інформацією про систему авторських прав у США та суттєві питання, пов'язані з торгівлею авторським правом.

У співпраці з USPTO, іншими бюро Міністерства торгівлі та іншими урядовими установами США, Програма розвитку комерційного права Міністерства торгівлі (Commercial Law Development Program – CLDP), здійснювала програми розбудови потенціалу з широкого кола питань ІВ, включаючи примусове виконання прикордонних прав ІВ, навчання суддів, правозастосування в цифровій сфері, а також економічне значення передачі ІВ і технологій, серед інших питань. У 2015 фінансовому році ці заходи були проведені в Алжирі, Вірменії, Бахреїні, Боснії та Герцеговині, Грузії, Косово, Малі, регіональному регіоні Магриба, регіональному Пакистані, Шрі-Ланці, Таджикистані, Тунісі, Україні та США.

Агентства виконавчої влади співпрацюють з посольствами США за кордоном для проведення тренінгів та розбудови потенціалу через такі програми, як програма Міжнародної академії правозастосування (ILEA); навчальні заходи, проведені USPTO і INTERPOL; Бюро міжнародного співробітництва з наркотиків та правопорядку Державного департаменту і фінансується країнами та регіональними програмами.

Президент США і його Адміністрація виступають проти крадіжки американської ІВ і прагнуть захистити свою інноваційну економіку. Президент Трамп висловив думку, що необхідно розглянути недобросовісні торговельні представники, які сприяють не тільки торговому дефіциту, але й перешкодам для доступу на ринок. “Ми дійсно повинні дивитися на доступ, примусову передачу технологій і крадіжку ІВ, яка сама по собі коштує США і її компаніям щонайменше 300 млрд. доларів на рік”.

Крадіжка ІВ не тільки завдає шкоди американським компаніям, але й загрожує національній безпеці. Сприяння американському процвітання є основою Стратегії національної безпеки (NSS) Адміністрації Президента США, яка стверджує, що “...Америка більше не буде терпіти хронічні торговельні зловживання і буде домагатися вільних, справедливих і взаємних економічних відносин. Щоб досягти успіху в геополітичній конкуренції 21 століття, Америка повинна бути лідером у

дослідженнях, технології та інноваціях. США захистять інноваційну базу національної безпеки від тих, хто краде нашу ІВ і несправедливо експлуатує інновації вільних суспільств...”.

NSS підкреслює, що “...щороку такі конкуренти, як Китай, крадуть ІВ США на суму в сотні мільярдів доларів. Крадіжка власних технологій і ідей на ранніх стадіях дозволяє конкурентам несправедливо залучати інновації провідних країн. США скоротять незаконні дії щодо привласнення технологій та технічних знань державного та приватного секторів країни ворожими іноземними конкурентами. Зберігаючи сприятливий для інвесторів клімат, ця Адміністрація буде працювати з Конгресом для зміцнення Комітету з іноземних інвестицій у США (Committee on Foreign Investment in the United States – CFIUS), щоб забезпечити вирішення поточних і майбутніх ризиків національної безпеки. США нададуть пріоритет контррозвідці та правоохоронній діяльності, щоб обмежити крадіжку ІВ з усіх джерел і вивчить нові правові та регуляторні механізми для запобігання та судового переслідування порушень...”.

Адміністрація Трампа прагне сприяти вільним, справедливим і взаємним економічним відносинам: “...США будуть домагатися двосторонніх торговельних та інвестиційних угод з країнами, які зобов'язуються здійснювати чесну і взаємну торгівлю, і модернізувати існуючі угоди, щоб забезпечити їх узгодження з цими принципами. Угоди повинні дотримуватися високих стандартів у сфері ІВ...”.

USTR тісно співпрацює з Бюро Координатора ІВ США та іншими урядовими установами США з питань ІВ. USTR продовжує вести переговори про торговельні угоди; огляди в рамках програм торгівлі США, таких як узагальнена система преференцій (GSP) і Закон про зростання і можливості країн Африки (AGOA); про перегляд торговельної політики, проведений у Світовій організації торгівлі; а також у висвітленні недоліків примусу до прав ІВ на зовнішніх ринках, а також у відомій електронній торгівлі та фізичних ринках торгівлі контрафактними та піратськими товарами.

USTR також тісно співпрацює з відділами виконавчої влади та відомствами для підготовки щорічного Спеціального звіту, який визначає торговельних партнерів США, що адекватно не захищають права ІВ, а також складають щорічний список Notorious Markets, що висвітлює відомі он-лайн і фізичні ринки поза межами США, які займаються та сприяють суттєвому піратству та підробці. Щорічний звіт надає огляд стану захисту та забезпечення дотримання ІВ торговельними партнерами США у всьому світі. У звіті називаються закордонні країни, а також викриваються закони, політика та практика, які не забезпечують належного та ефективного захисту прав ІВ для авторів, брендів, виробників та провайдерів послуг. Огляд ринків, що знаходяться поза циклами, свідчить про видатні приклади іноземних “...он-лайн і фізичних ринків, які, як повідомляється, беруть участь, допомагають, закривають очі або отримують вигоду від піратства та підробок...”, кількість

іноземних сайтів електронної торгівлі та фізичних ринків, де є піратські або підроблені товари.

Міжнародна комісія з торгівлі США є незалежним квазі-судовим федеральним агентством з широкими слідчими повноваженнями з питань торгівлі. Розділ 337 Закону про тарифи 1930 року передбачає надання допомоги проти несправедливих дій та несправедливих методів конкуренції при імпорті товарів, включаючи статті, які порушують патент США або торговельну марку США. Позивач, який подав скаргу згідно з Розділом 337, може вимагати заборону в'їзду до США порушників.

Світова організація торгівлі (далі – СОТ) розглядається американською стороною як форум для забезпечення дотримання прав США за різними угодами СОТ з метою отримання країною всіх переваг від членства в СОТ. Ці угоди СОТ також забезпечують фундамент для високих стандартів двосторонніх та регіональних угод США, які роблять позитивний внесок у створення вільної, справедливої та відкритої глобальної торговельної системи на основі верховенства права. Що стосується прав ІВ, СОТ надає можливість США співпрацювати з торговими партнерами з ключових питань ІВ, зокрема, шляхом переговорів про приєднання для потенційних членів Ради з торговельних аспектів прав ІВ (Рада ТРІПС), і залучення справ, пов'язаних з правами ІВ, до Органу врегулювання суперечок СОТ. У 2017 році США розробили свій порядок денний стосовно ІВ та інновацій у Раді ТРІПС через низку ініціатив, спрямованих на краще розуміння важливої ролі, яку ІВ відіграє у просуванні інклюзивних інновацій для мікро-, малих та середніх підприємств (ММСП).

Правоохоронні органи США вживають рішучих заходів проти кримінальних підприємств, які беруть участь у крадіжці ІВ. До таких органів належать Департамент юстиції, Департамент внутрішньої безпеки, Департамент охорони здоров'я та управління соціальними службами, а також інші виконавчі органи правоохоронних органів, щоб захистити американські інновації та ІВ.

Міністерство юстиції проводить розслідування та переслідує широкий спектр злочинів, щодо ІВ, включаючи ті, що пов'язані з піратством авторських прав, підробкою торговельних марок та крадіжкою комерційної таємниці. Первинну слідчу та прокурорську відповідальність у складі Департаменту покладено на ФБР, офіси прокурорів США, відділ комп'ютерної злочинності та інтелектуальної власності (CCIPS) у відділі кримінальної справи, відділ контррозвідки та експортного контролю (CES) у відділі національної безпеки, а також стосовно злочинів, що виникають згідно із Законом про продовольство, лікарські засоби та косметику, відділ захисту прав споживачів цивільного відділу. Міністерство юстиції також має мережу з 270 спеціально підготовлених федеральних прокурорів, які складають програму комп'ютерного хакеру та інтелектуальної власності Департаменту.

Національний центр координації прав ІВ (Центр захисту прав ІВ) при Департаменті внутрішньої безпеки об'єднує урядові установи для обміну інформацією, використання ресурсів, навчання слідчих, прокурорів

та громадськості щодо ІВ; проводить агресивну міжнародну програму, спрямовану на сприяння спільним зусиллям з торговельними партнерами та вдосконалення основних законів та режимів правозастосування в інших країнах. Крім того, Центр захисту прав ІВ продовжує залучати промисловість до відкритого та постійного діалогу, який використовує зусилля правоохоронних органів та співробітництво приватної галузі для ефективної боротьби зі злочинами у сфері ІВ. Центр захисту прав ІВ розробив численні ініціативи та докладають зусиль у боротьбі з підробками. Ці зусилля зосереджені на підробках, що становлять ризик для здоров'я та безпеки для споживачів, Міністерства оборони та урядових мереж США, а також захисту економіки країни.

Уряд США бере участь у низці навчальних програм для федеральних, державних і місцевих прокурорів і агентів, які розслідують злочини, пов'язані з ІВ. Ці навчальні курси охоплюють цілий ряд питань, пов'язаних із правозастосуванням, і спрямовані на посилення координації дій між прокурорами та слідчими, а також між федеральними, державними та місцевими правоохоронними органами.

Міністерство юстиції надає гранти для підтримки державних та місцевих сил правоохоронних органів, місцевої підготовки та технічної допомоги у сфері ІВ. Програма інтелектуальної власності (ІПЕР) розроблена для забезпечення національної підтримки та поліпшення спроможності державних і місцевих систем кримінального правосуддя до вирішення питань кримінального правопорядку, включаючи переслідування, запобігання, навчання та технічну допомогу. Згідно з цією програмою, одержувачі грантів встановлюють та підтримують ефективну співпрацю та координацію між державними та місцевими правоохоронними органами, включаючи прокурорів, багатонаціональні цільові групи та відповідні федеральні відомства, включаючи ФБР та офіси адвокатів США.

Міністерство юстиції надає пріоритет розслідуванню та судовому переслідуванню справ з ІВ, які включають здоров'я та безпеку, крадіжку комерційної таємниці або економічне шпигунство, великомасштабну комерційну підробку та онлайн-піратство. Також збільшено акцент на злочинах, пов'язаних з ІВ, які вчиняються з використанням Інтернету або здійснюються організованими злочинними мережами.

Міністерство юстиції, у координації з іншими федеральними слідчими органами, співпрацює з Міжнародним центром розвідки та операцій з організованою злочинністю з метою надання даних Центру для вирішення прогалин розвідки, які стосуються ІВ. Центр надає оперативну, розвідувальну та фінансову підтримку розслідуванням, де міжнародні організовані злочинні групи залучені до правопорушень у сфері ІВ.

Програма регіонального координатора правозастосування (IPLEC), що фінансується Державним департаментом та здійснюється Міністерством юстиції, підвищує ефективність роботи американського персоналу, який працює за кордоном, шляхом підготовки місцевих прокурорів, суддів і поліції. Таке навчання призвело до

кількох закордонних судових переслідувань щодо підробок торговельних марок та піратства.

Крім того, варто відзначити, що підвищення співпраці правоохоронних органів за кордоном є одним з ключових елементів захисту ІВ США.

Адміністрація Президента США тісно співпрацює з широким колом зацікавлених сторін промисловості, що охоплює малі, середні та великі підприємства, для вирішення повного спектру питань політики ІВ, правозастосування та захисту. Спільна робота є ключовим елементом з пошуку нових рішень і творчих шляхів вирішення питань ІВ.

Програма ІВ “Attache” Міністерства торгівлі, сфокусована на економічні інтереси США за кордоном з метою сприяння урядовій політиці країни у сфері ІВ, забезпечення високих стандартів у міжнародних угодах та законах приймаючої країни, а також заохочення ефективного захисту ІВ торговими партнерами.

Глобальна Академія ІВ (GIPA) надає освітні та навчальні програми з ІВ з метою підвищення обізнаності та технічного потенціалу ІВ. У 2017 фінансовому році внутрішньополітична діяльність GIPA зосереджувалася на важливості захисту ІВ та примусовому дотриманні для компаній США, що здійснюють бізнес за кордоном.

Державний департамент і USPTO також провели навчальні програми для підготовки офіцерів закордонних служб, що займаються зарубіжними завданнями, щодо: основ ІВ, позиції уряду США з поточних дебатів, таких як доступ до лікарських засобів та пріоритетів промисловості США. Як наслідок, ці посадовці краще підходять для захисту прав іноземців у США; надавати корисну звітність на місцях для міжвідомчих обговорень стосовно Спеціального річного звіту Конгресу, горезвісних ринків та інших звітів, пов'язаних з ІВ та політичних дискусій; формулювання політичної позиції уряду США в двосторонніх обговореннях і у форматі міжнародних форумів.

Адміністрація Президента США також продовжує вивчати можливості співпраці з зацікавленими сторонами у важливих сферах політики ІВ, яка включає існуючі добровільні ініціативи, що забезпечуються індустріальною власністю, та нові сфери для більш тісної співпраці.

Існує низка перспективних напрямів політики, які можуть бути розглянуті та обговорені у подальшому, а саме:

**Політика щодо авторських прав:** авторські права є не тільки економічно важливими, але й ключовою частиною культури та суспільства в цілому. Необхідна добре функціонуюча система авторських прав. Система авторських прав США ґрунтується на Конституції і побудована на багатовіковій судовій практиці, законодавчих положеннях і нормативних актах. Оскільки нові технології продовжують розвиватися, зрушення в доставці контенту, включаючи музику та фільми, від фізичних продажів до цифрових завантажень потокової передачі, потребують подальшого вивчення та обговорення, щоб гарантувати, що система авторських прав США постійно оновлюється.

Бюро з питань авторського права бере участь у публічних розслідуваннях і співпрацює із зацікавленими сторонами в ході різних досліджень та підготовки звітів для консультування Конгресу.

Адміністрація Президента США продовжує контролювати зусилля реформ у Конгресі, а також співпрацювати із зацікавленими сторонами та країнами-членами в процесі розробки концептуальних рішень з таких питань:

**Кібер-крадіжка:** кіберзахищена крадіжка ІВ, особливо комерційної таємниці, завдає значних втрат економіці США. Зацікавлені сторони та установи у федеральному уряді розробляють стратегії щодо обмеження здатності кримінальних суб'єктів та іноземних супротивників скористатися привласненою ІВ промисловості США.

**Електронна комерція:** питання ІВ, пов'язані з онлайн-продажем товарів і послуг, добре задокументовані, і багато зацікавлених сторін, у тому числі онлайн-платформи продажу, компанії з обробки платежів і рекламні мережі, сформуvalи партнерські відносини між державним і приватним секторами для вирішення багатьох питань, одночасно заохочуючи інновації в цифрове середовище. Тим не менш, деякі питання залишаються невирішеними і швидкий прогрес у торгівлі за допомогою Інтернету, включаючи абсолютно нові бізнес-моделі, приніс нові проблеми, які необхідно вирішити. Адміністрація Президента США прагне від зацікавлених сторін допомоги у розробці нових партнерських відносин та творчих рішень для вирішення проблем, пов'язаних з ІВ, у просторі електронної комерції, а також розширення цих зусиль в майбутньому.

**Експрес-перевезення:** понад 11 мільйонів контейнерів прибувають до морських портів США, ще 13 мільйонів прибувають вантажівками та залізницями, а додаткові чверть мільярда вантажних, поштових та експрес-пакетів надходять повітрям. При цьому, половині всіх конфіскованих товарів з порушеннями у сфері ІВ припадає саме на такі перевезення. А відтак США мають розробити вдосконалені методи вирішення цієї проблеми. Такі заходи можуть включати вимогання від іноземних вантажовідправників надавати вдосконалені електронні дані та повідомлення про відправлення, щоб краще орієнтуватися на підозрілі пакети; вивчення пакетів, що надходять з регіонів, де існує висока ймовірність надсилання незаконних або підроблених товарів.

**Internet Corporation for Assigned Names and Numbers – ICANN** (Інтернет-корпорація з присвоєння імен та номерів): Адміністрація Президента продовжуватиме співпрацювати з зацікавленими сторонами приватного сектору та ICANN для забезпечення того, щоб нова програма загального домену верхнього рівня (gTLD) мала належні заходи для забезпечення дотримання прав ІВ; співпрацювати з зацікавленими сторонами та міжнародними партнерами для забезпечення того, що база даних Всесвітньої організації охорони здоров'я залишалася ефективним ресурсом; забезпечити захист прав власників брендів, творців і новаторів.

**Заборонені потокові пристрої:** піратство ISD – це комбінація медійних коробок, приставок або інших пристроїв з піратськими програмами (додатками), які дозволяють користувачам передавати, завантажувати або іншим чином здійснювати доступ до несанкціонованого вмісту з Інтернету. ІСД можуть бути “повністю завантажені” на місці продажу за допомогою медіа програвача з відкритим вихідним кодом, додатків, налаштованих на доступ до неліцензованого контенту через сайти, що використовують кібер-браузер і потокові пристрої. Альтернативно, пристрої можуть бути об’єднані з додатками після покупки для досягнення тієї ж мети. Такі додатки продаються або надаються через Інтернет-ринки для доступу до контенту, що порушує права використання потоків пристроїв. Учасники авторського права з усіх сегментів Інтернет-екосистеми вказали, що ці пристрої становлять зростаючу проблему як у США, так і в усьому світі.

**Патентна політика:** добре функціонуюча патентна система є важливою для економіки і має вирішальне значення для забезпечення стимулів для цінних інновацій. Адміністрація Президента США працює над просуванням інновацій та забезпеченням того, щоб мати ефективні та надійні патенти. Необхідно тримати патентні закони США в актуальному стані і переконатися, що американські новатори здатні ефективно забезпечувати та використовувати свої винаходи за кордоном.

**Встановлення стандартів:** багато економічних конкурентів Америки займаються в організаціях, що визначають стандарти (Standards setting organizations – SSOs), часто на шкоду американським новаторам. Оскільки Адміністрація Президента США та американська промисловість співпрацюють з SSO, важливо забезпечити справедливе використання SSO, щоб сприяти впровадженню нових технологій, а не перешкоджати здатності американських новаторів займатися винахідницькою діяльністю. SSO сприяють впровадженню нових технологій, які повинні бути доступними для промисловості за справедливих, розумних і недискримінаційних умов.

**Торгові марки / Географічні вказівки:** у США фермери, ремісники та підприємства можуть використовувати систему торговельних марок, серед інших засобів, для ефективного та передбачуваного захисту своїх географічних зазначень. Навпаки, деякі країни захищають ІВ за межами системи реєстрації торговельних марок, в системах *sui generis*, що може призвести до конфлікту з встановленими правами на торговельні марки і вводити в оману споживачів. Ці країни експортують свої системи неналежних торговельних марок, прив’язуючи їх до доступу до ринків у договорах про вільну торгівлю з країнами по всьому світу, в результаті чого «списки» географічних ознак приймаються в іноземних юрисдикціях без проведення незалежного громадського розгляду та потенційно без урахування існуючих прав на торговельну марку або загальні терміни. Ця “перестановка списків” на ІВ може несправедливо блокувати американських фермерів і підприємства від продажу своїх товарів у треті країни. Офіс Координатора ІВ в Адміністрації Президента США зобов’язаний

співпрацювати з міжвідомчими та зацікавленими сторонами США для просування системи захисту прав на основі торговельних марок.

**Політика торговельних таємниць** є життєво важливою для збереження глобальної конкурентоспроможності США, захисту та застосування комерційної таємниці. Багато знакових американських винаходів та інших нововведень зберігаються як комерційна таємниця, а унікальні переваги захисту комерційної таємниці дають цим винаходам належне місце в портфелях ІВ американських інноваційних компаній. Неправомірне привласнення комерційної таємниці може мати багато форм – від виходу з набору проєктів до злому на сервері компанії. Ключовою є робота щодо пошуку ефективних заходів захисту американських новаторів від іноземних агентів, які займаються торгівлею таємницею.

Крім того, важливим економічним і стратегічним завданням є створення середовища, в якому американські новатори можуть інвестувати та будувати виробничі потужності в США. Щоб заохотити американське виробництво, необхідно працювати над тим, щоб винахідники дотримувалися комерційної таємниці.

Адміністрація Президента США продовжуватиме співпрацювати з зацікавленими сторонами з цих та інших важливих питань ІВ, щоб гарантувати захист творчості та інновацій.

Заохочення ефективного захисту ІВ та інновацій у США є ключовим фактором для подальшої економічної конкурентоспроможності країни протягом наступних десятиліть.

Щоб розвивати економіку, стимулювати інновації, захищати ІВ та вивести країну на перше місце, знадобляться не тільки ефективні зкоординовані зусилля в Уряді США, але й спільні дії з Конгресом, приватним сектором та громадськістю. Всі гілки влади повинні працювати спільно, щоб гарантувати, що загальна стратегія ІВ країни враховує як внутрішню, так і міжнародну політику та її вплив. Робота, яку здійснюють США для модернізації та оновлення законів про ІВ на національному рівні, а також щодо їх виконання, впливає на міжнародні дискусії та переговори. При цьому дії, які здійснюють торгові партнери та конкуренти за кордоном, мають безпосередній вплив на вартість американської ІВ, створення робочих місць і зростання економіки в США.

Управління координатора ІВ США працює над сприянням інновацій та творчості шляхом забезпечення ефективного захисту ІВ та правозастосування, всередині країни та за кордоном.

США повинні працювати над вирішенням питань ІВ, включаючи захист та правозастосування, за їхнім джерелом походження. Необхідно також працювати з односторонніми, щоб гарантувати, що іноземні суб’єкти, які займаються крадіжкою ІВ, більше не зможуть отримувати дивіденди від своїх не законно отриманих прибутків.

Президент США і його Адміністрація виходять з розуміння, що політика ІВ повинна ефективно координуватися і включати ще ширший спектр агентств виконавчої влади та зацікавлених сторін.

Наразі США перебувають на вирішальному етапі 21 століття і майбутній успіх залежить від того, як країна захищатиме економічну та інноваційну конкурентоспроможність, заохочуватиме нові механізми зростання та пріоритетність інноваційних і творчих можливостей країни.

### **Ключові принципи, підходи та порядок функціонування процесу захисту в США ОПІВ при закупівлі ОВТ**

Для висвітлення цього питання приведемо дослідження Інституту оборонного аналізу США [4], які містять інформацію про результати проекту, запропонованого Управлінням Міністерства оборони щодо Політики в сфері оборонних закупівель та придбання (Office of the Secretary of Defense – OSD, Defense Procurement and Acquisition Policy).

Зокрема, документ вимагає перегляду:

а) Правил, практики та обов'язків Міністерства оборони (DOD), пов'язаних з доступом та використанням урядом прав ІВ підприємств приватного сектора; та

б) практики з питань оборони, пов'язаних із закупівлею, управлінням та використанням прав ІВ для сприяння конкуренції у забезпеченні систем ОВТ протягом всього їхнього життєвого циклу.

Такі висновки ґрунтуються на наступних міркуваннях.

#### *Закон про захист інтелектуальної власності (ІВ)*

ІВ складається з чотирьох категорій: патентів, авторських прав, товарних знаків і комерційних секретів. Захист ІВ приватного сектору визнано надзвичайно важливим для сприяння інноваціям. Проте до 1984 року права на дані, що стосуються контрактів Міноборони США, не були чітко визначені в статуті; скоріше, вони були охоплені відомчими правилами.

Закон про реформування оборонних закупівель 1984 року передбачав конкретні права на технічні дані та процедури, щоб розмежувати права, що вимагаються підрядниками, а також ті, які надаються уряду.

Права Міністерства оборони щодо ІВ значно розширилися за ці роки, і сьогодні вони є досить надійними. Розділ ІВ Стратегії придбання є обов'язковою умовою при придбанні Міністерства оборони ОВТ (Milestone A).

Додаток стратегії щодо ІВ повинен стати частиною Плану життєвого циклу. Досягнення в області технологій, розширене використання комерційних компонентів, а також збільшення вмісту програмного забезпечення в системі закупівель ОВТ Міністерства оборони зробили питання ІВ більш спірними між оборонним відомством та його контрагентами, особливо виробниками оригінального обладнання. Це частково пояснюється неоднозначністю у визначенні того, наскільки підрядник чи уряд фінансував певні дії.

Виробники (постачальники) продукції оборонного призначення прагнуть захистити ІВ для збереження своєї конкурентної спроможності, в той час як

Міністерство оборони бачить, що недоступність до ІВ може обмежувати можливість проведення технічного обслуговування на складах Міністерства оборони і зменшити конкуренцію у наданні комплектуючих деталей та послуг для підтримки ОВТ.

Для багатьох ключових систем є лише два-три потенційних виробника (постачальника) ОВТ і після того як вибір зроблено, провайдер є єдиним виконавцем, який має значний вплив на переговори з урядом щодо ІВ. Враховуючи довгострокову цінність цих контрактів, фірми іноді заявляють про низький рівень розвитку та/або виробництва за умови, що вони отримуватимуть прибуткову підтримку протягом багатьох років.

Офіси управління програмою придбання ОВТ ставлять під сумнів забезпечення балансу між досягненням бажаних показників у рамках короткострокових обмежень витрат і графіка поставок (а іноді й задоволення невідкладних операційних вимог) та витрат на обслуговування.

#### *Діяльність оборонного відомства та промисловості щодо захисту прав ІВ*

На схемі рис.1 зображені пересічні та часто конкуруючі відносини між зацікавленими сторонами, які беруть участь у визначенні та використанні прав ІВ для підтримки систем закупівель ОВТ. Міністерство оборони – головним чином, шляхом управління програмою закупівель – повинно збалансувати ці конкуруючі інтереси в прагненні досягти найкращих результатів у придбанні та підтримці ОВТ Міністерства оборони.

Розробники проектів програм зосереджуються на опрацюванні підходів Міністерства оборони щодо питань, пов'язаних з ІВ, акцентуючи увагу на підтримці ОВТ в належному стані. Слід зазначити, що практика Міністерства оборони в галузі ІВ змінювалася протягом багатьох років, змінюючи пріоритети між урядом, який отримував більше прав, і приватним сектором, який зберігав права на ІВ.

Така динаміка відображає суперечливі інтереси уряду та його приватних постачальників. За часів, коли практично вся оборонна технологія та обладнання розроблялися згідно з державним контрактом, Міністерство оборони мало практично необмежені права. Проте, з прискоренням процесу розвитку цивільних технологічних розробок, Міністерство оборони все частіше залучало приватні структури та їх новітні технології. Разом з тим, не всі такі дослідження є комерційно пов'язаними.

Виконавці державного оборонного замовлення (ДОЗ) розробляють технології, пов'язані з обороною, за допомогою незалежних досліджень та розробок (IR&D) або від суто приватних інвестицій, незважаючи на те, що компенсація, права ІВ зберігаються виконавцем. В ході таких еволюційних процесів щодо доступу Міністерства оборони до ІВ стає все більш складним, оскільки виконавці, які є виробниками оригінального обладнання (original equipment manufacturers – OEM), намагаються захистити свої конкурентні позиції. Зусилля Міністерства оборони щодо отримання даних та



Рис.1. Структурно-функціональна схема взаємозв'язків зацікавлених сторін у сфері ІВ.

прав ІВ, для підтримки своїх ОВТ та зниження витрат на розвиток ОВТ через конкуренцію, суперечать інтересам промисловців. Зокрема, останні стверджують, що загроза такої конкуренції перешкоджає висуненню ними пропозицій щодо використання передових запатентованих технологій в розробці новітніх ОВТ. В таких умовах відбуваються процеси в оборонному відомстві для виявлення та отримання прав на підтримку ІВ.

Додаткові складності полягають в тому, що Міністерство оборони зобов'язане забезпечити підтримку наявних систем ОВТ, що знаходяться на зберіганні. При цьому Міноборони зацікавлене у зменшенні державних активів на такі цілі. Цей фактор додає третього учасника конкуруючих інтересів.

Таким чином, на схемі відображені функціональні зв'язки Міністерства оборони і військових департаментів, які реалізуються Офісом з управління програмою (ОУП), що відповідає за визначення стратегії щодо збереження ОВТ та забезпечення реалізації цієї стратегії в контрактах і фінансальних планах.

Особи Міністерства оборони, відповідальні за розробку політики та впровадження її у рішення щодо підтримки систем ОВТ, повинні зрівноважити ці конкурентні інтереси у досягненні найкращих

результатів щодо забезпечення Міністерства оборони ОВТ.

За результатами дослідження з цієї тематики, були визначені наступні питання щодо захисту ІВ та підтримки систем оборонних закупівель:

*Участь у процесі.*

Хоча військові відомства мають механізми проведення експертизи в процесі організації закупівель та підтримки, які в основному розділені, наслідком чого є відсутність достатньої уваги до самого процесу придбання.

*Труднощі в отриманні даних та прав на ІВ.*

Положення та підходи, визначені у плані придбання для доступу до ІВ часто не реалізуються в наступних контрактах тому, що виробники відмовляються надавати дані та права на ІВ через фінансові, часові та інші обмеження суто суб'єктивного характеру.

*Дані, які надані із суперечним підтвердженням прав на ІВ.*

Технічні дані та пов'язані з ними матеріали, надані виробниками (постачальниками), можуть мати визначення прав на ІВ, які для оборонного відомства вважається помилковими або невідповідними. При цьому процес оскарження може бути складним, тривалим і

обтяжливим як для контрагента, так і для Міністерства оборони, оскільки сторони повинні дотримуватися позначень виробника (постачальника), доки питання не будуть вирішені.

*Отримання технічних даних та прав на встановлення та підтримку основних можливостей матеріально-технічного забезпечення.*

Багато програм мали труднощі з встановленням належного зберігання отриманої продукції оборонного призначення через відсутність технічних даних і програмного забезпечення та прав на нього.

*Можливість конкурувати при закупівлі комплектуючих виробів і деталей.*

Закупівля комплектуючих частин у основного виконавця контракту часто є результатом недосконалості програм закупівель Замовника, які не містять достатніх даних щодо прав на ІВ, щоб дозволити стороннім постачальникам виробляти кваліфіковані заміни при здійсненні закупівель комплектуючих виробів і деталей.

*Навчання та наявність допоміжної експертизи.*

Офіси управління програмою придбання не мають достатньо кваліфікованого персоналу з питань ІВ та пов'язаних з ними контрактних вимог та забезпечення, а доступ до таких знань дуже обмежений.

За результатами досліджень комплексу питань щодо оборонних закупівель в контексті захисту та доступу до ІВ були зроблені наступні основні висновки:

- у минулому, особи, що приймали рішення, як в Міністерстві оборони, так і в інших військових відомствах не змогли зосередитись на виявленні та доступі до ІВ, необхідної для забезпечення систем закупівель ОВТ;

- відсутність доступу до ІВ з відповідними правами перешкоджає можливості оборонного відомства використовувати конкурентні контракти на запчастини, технічне обслуговування та подальше виробництво і, ймовірно, призводить до збільшення довгострокових витрат;

- неоднозначні терміни погіршують реалізацію прав на ІВ для їх забезпечення.

При цьому визнається існування більших викликів, а саме, збільшення уваги в Міністерстві оборони на скорочення витрат на підтримку програм захисту ІВ, може стимулювати виникнення наступних проблем:

- існує величезна спадщина застарілих ОВТ, для яких не були придбані свого часу необхідні дані щодо ІВ та права на технічне супроводження;

- новітні ОВТ, для яких існує невелика конкуренція, надають Міністерству оборони мало важелів для проведення переговорів щодо придбання ІВ на початку реалізації програми щодо їх закупівель;

- незважаючи на сприяння інноваціям, системи, розроблені постачальниками оборонної продукції виключно за власні кошти, часто надають обмежені права на ІВ та дані Міністерству оборони.

- чисто комерційні технології, включаючи широкий спектр програмних продуктів, які Міністерство оборони все частіше використовує, надають лише той самий доступ до ІВ, який мають комерційні клієнти, якщо тільки Міністерство оборони не може обговорити більш

широкі права. Це створює певні виклики концепціям Міністерства оборони.

Такі виклики, в основному виникають внаслідок зменшення конкурентного середовища для систем ОВТ, ставлять питання: чи було досягнуто значення, при якому основні припущення контрактів на конкурентні пропозиції зменшуються. Якщо це правда, то це означає, що Міністерство оборони має серйозну проблему, яка потребує нового мислення щодо законів та правил, які регулюють права на ІВ для ОВТ та їхньої підтримки.

Рекомендації за результатами досліджень полягають у наступному:

- вважати підтримку та придбання відповідних даних на права ІВ чітко визначеним пріоритетом в управлінні Міністерством оборони та контролем за здійсненням закупівель ОВТ;

- створити або розширити існуючі організаційні можливості в Міністерстві оборони, щоб отримати досвід у придбанні даних та прав ІВ менеджерам програм закупівель протягом всього життєвого циклу, а також іншим співробітникам, задіяним у придбанні ОВТ;

- для проведення аналізу пакетів комерційних пропозицій, варіантів переходу на конкурентну модель підтримки (обслуговування та постачання) мати такі програми закупівель ОВТ Міністерством оборони, які б в значній мірі залежали від контрактів з єдиним виробником (постачальником). Результати повинні бути передані виконавцям програм придбання компонентів з рекомендованим планом для отримання необхідних даних та прав на ІВ;

- програми придбання, які використовує Міністерство оборони повинні максимально використовувати сертифіковані дані, щоб полегшити конкуренцію щодо технічного обслуговування і постачання комплектуючих частин для ОВТ;

- створити під егідою Міноборони постійно діючу консультативну групу, для визначення спільно з представниками промисловості шляхів вирішення неоднозначностей і розбіжностей в термінах і положеннях, пов'язаних з потребами у забезпеченні оборони, особливо тих, які стосуються доступу до ІВ. Групі слід доручити розробити додаток до Федеральних нормативно-правових актів з питань придбання ОВТ, які б детальніше визначали значення таких термінів, як дані про: експлуатацію, технічне обслуговування, встановлення та навчання, форми придатності та функції і детальні дані щодо виробництва та обробки.

## ВИСНОВОК:

Особливий інтерес для Міністерства оборони України становить практика оборонного відомства США щодо визначення керівних механізмів застосування принципів захисту прав інтелектуальної власності при розробці політики оборонних закупівель з метою формування державного оборонного замовлення. Така політика має включати крім суто оборонних аспектів також фактори комерційного характеру.

Пошук оптимальних рішень надасть можливість підтримувати обороноздатність країни на належному

рівні шляхом належного оснащення Збройних Сил України сучасними озброєннями та військовою технікою при мінімальному використанні бюджетних коштів для проведення розрахунків з розробниками новітніх технологій та продукції оборонного призначення.

Особливу актуальність реалізації цих завдань слід визнати в умовах спрощення закупівлі ОВТ для української армії від іноземних виробників (постачальників), маючи повноваження Міністерства оборони України на таку закупівлю без посередництва Державної компанії “Укроборнпром”.

### СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Щодо Закону України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо здійснення закупівель продукції, робіт і послуг оборонного призначення за імпортом. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.president.gov.ua>.
2. Коментарі Президента України П.О. Порошенка представникам ЗМІ після зустрічі з Віце-президентом США Майком Пенсом під час Мюнхенської безпекової конференції 2019 року [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.president.gov.ua/news/mij-signal-dlya-vas-osobisto-i-dlya-ukrayinciv--vami-vic-53174>.
3. ANNUAL INTELLECTUAL PROPERTY REPORT TO CONGRESS, March 2018, Executive Office of the President of the United States of America, UNITED STATES INTELLECTUAL PROPERTY ENFORCEMENT COORDINATOR [Електронний ресурс]. (Річний звіт Конгресу з питань інтелектуальної власності, березень 2018 року, Адміністрація Президента США, Управлінням Координатора запровадження інтелектуальної власності США) [Електронний ресурс]. [https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2017/11/2018Annual\\_IPEC\\_Report\\_to\\_Congress.pdf](https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2017/11/2018Annual_IPEC_Report_to_Congress.pdf).
4. ІНСТИТУТ ОБОРОННОГО АНАЛІЗУ США, Департамент захисту доступу до інтелектуальної власності щодо забезпечення систем зброї, “Огляд доступу уряду до прав інтелектуальної власності приватних підприємств”, травень 2017 р., Директор з питань закупівель та придбання оборони Річард Ван Атта, керівник проекту Ройс Кенне Майкл Ліппіц Крістіна Паттерсон, 4850 Mark Center Drive Олександрія, Вірджинія 22311-1882, [https://www.sae.org/events/dod/2017/attend/program/presentations/bo\\_10\\_van\\_atta](https://www.sae.org/events/dod/2017/attend/program/presentations/bo_10_van_atta).

Стаття надійшла до редколегії 01.10.2018 р.

**Рецензент М.І. Луханін**, д-р техн. наук, професор (Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ) <https://orcid.org/0000-0002-1919-8526>



## КОНФЕРЕНЦІЯ ARMOURED VEHICLES EASTERN EUROPE 2018



Представники Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України (далі – ЦНДІ ОВТ ЗСУ) полковник Владислав Сотник та майор Сергій Бісик виступили із доповідями на конференції Armoured Vehicles Eastern Europe 2018 (Броньована техніка Східної Європи), що проходила 25–26 вересня 2018 року в м. Бухарест, Румунія).

Конференція організовується Defence IQ кожного року в різних містах країн, що входять до НАТО.

Мета конференції – обговорення перспектив розвитку броньованих машин, питань їх закупівель, налагодження співробітництва й підтримки на території Східної Європи. Доповідь представників ЦНДІ ОВТ ЗСУ була присвячена сучасному стану та тенденціям розвитку броньованих машин Збройних Сил України, досвіду їх застосування при проведенні антитерористичної операції на території Донецької та Луганської областей.

Доцільність та важливість участі в цій конференції визначалась:

необхідністю підтримання і розвитку партнерських відносин та військового співробітництва із

країнами-членами НАТО, спрямованих на захист національних інтересів;

важливістю об'єктивного висвітлення інформації щодо ситуації в Україні з метою підвищення рівня довіри та поінформованості партнерів.

У конференції Armoured Vehicles Eastern Europe 2018 взяли участь представники Австрії, Англії, Румунії, Болгарії, Об'єднаних Арабських Еміратів, Македонії, Норвегії, Фінляндії, Словаччини, Чехії, Німеччини, України, Ізраїлю, Угорщини, Хорватії. Крім того у засіданні конференції брали участь представники агентства НАТО з питань постачання та закупівель (NATO Support and Procurement Agency), Європейського центру сумісності військових систем (European Army Interoperability Center) та промисловості.

Під час проведення конференції обговорювались:

питання щодо напрямів розвитку броньованих машин з колісною формулою 4x4, 6x6, 8x8;

питання розвитку бойових модулів якими обладнуються броньовані машини;





Кадри тесту на протимінну стійкість БТР Boxer

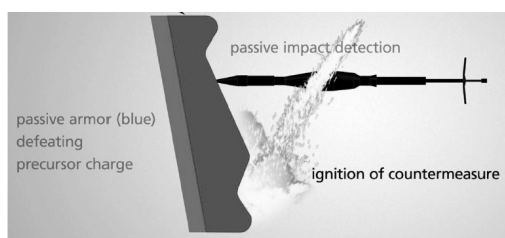
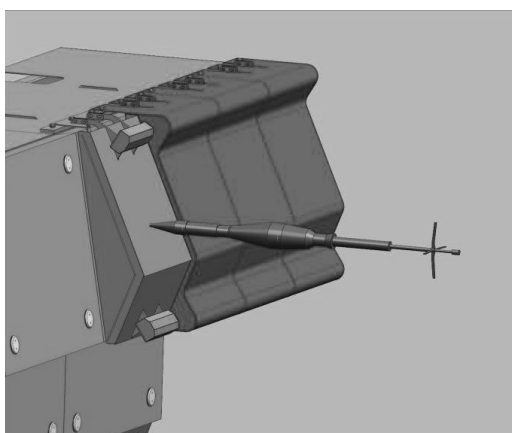
питання модульності броньованих машин та зменшення їх вартості;

проблеми забезпечення, закупівель та використання броньованих машин;

досвід використання броньованих машин та підрозділів, що їх використовують у збройних конфліктах останніх десятиріч.

Аналіз матеріалів конференції дозволяє встановити деякі перспективні напрями розвитку броньованих машин у світі, а саме:

створення модульної системи побудови броньованих машин. Встановлення броньованого модулю на шасі бойової машини в залежності від характеру завдань які вона має виконувати. Крім того можливість варіювання рівня захисту броньованої машини в залежності від прогнозованих загроз на полі бою. Такі системи передбачають підвищення (за рахунок захисних модулів) як балістичного так і протимінного захисту а також маскування техніки в багато спектральному діапазоні;

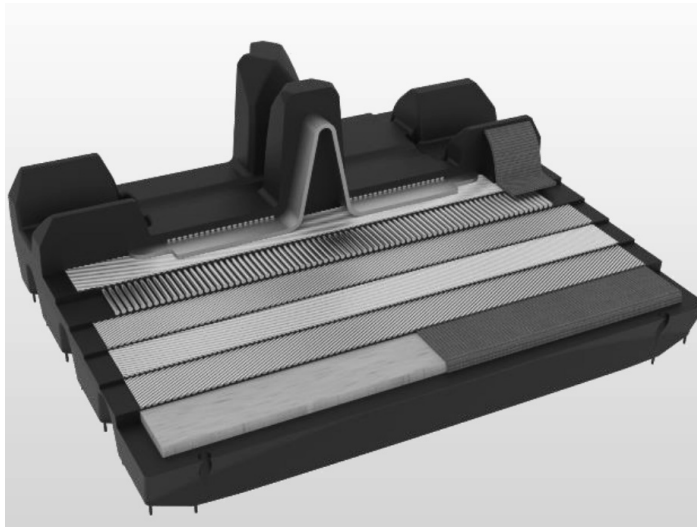


a



б

Активний захист SMART-PROTech від гранат РПГ виробництва IBD (a) та варіанти обладнання бойових машин (б)



Композиційно гумо-металева гусениця виробництва Soucy Defense (резина 49%, сталь 29%, композит 22%)

необхідність підвищення захисту броньованих машин від протитанкових мін (вагою 20 кг) захисту від саморобних вибухових пристроїв (10 снарядів 152 мм), гранат РПГ (тандемних та бікаліберних), балістичного захисту від калібрів 40, 57 мм (захист від калібрів 7,62, 12,7 та 14,5 мм, мін вагою 6 кг, експерти вважають вже пройденим етапом);

використання модульної побудови бойових модулів броньованих машин. Застосування такого підходу дозволяє встановлювати на бойовий модуль озброєння різних калібрів та призначення (гармата 30 мм, 90 мм, 105 мм, 120 мм; гранатомет, кулемет та інше озброєння) в залежності від завдань які стоять перед підрозділом. За презентаціями виробників, розроблені технічні рішення дозволяють проводити заміну озброєння в бойовому модулі протягом незначного часу без потреби в довготривалих налаштуваннях та регулюваннях системи управління вогнем;

встановлення динамічних та активних систем захисту на броньовані машини використовуючи сучасну мікроелектроніку з мікросекундною дією та використання технічних рішень, що дозволяють направити дію активних елементів системи захисту на засоби ураження (що дозволить локалізувати їх уражаючу дію та покращує вирішення питання із взаємодією броньованих машин обладнаних системою активного захисту та піхотинців);

використання композиційних гумо-металевих гусениць на броньованих машинах (що мають меншу масу, рівень вібрації та шуму, довговічність порівняно із металевими гусеницями);

зменшення вартості виготовлення та обслуговування броньованих машин;

забезпечення взаємосумісності броньованих машин з іншим озброєнням та військовою технікою в єдину систему на полі бою;

виготовлення зразків броньованих машин за стандартами НАТО у кооперації підприємств країн, що є членами НАТО;

створення прозорих систем закупівель озброєння та військової техніки (висвітлення потреби у кількості на сайтах міністерств оборони країни, що потребує зразок броньованої машини з вказаними основними вимогами до них). Відкрите проведення тендерів та процесу закупівлі зразків.

Представниками ЦНДІ ОБТ ЗСУ було запропоновано переглянути вимоги до рівнів протимінного захисту броньованих машин визначенні в STANAG-4569, що значно зросли в сучасних умовах.

Участь у таких заходах є безумовно доцільною, адже дозволяє оцінити сучасні тенденції розвитку бойових машин провідних країн світу та презентувати результати діяльності вітчизняної науки та промисловості.

кандидат технічних наук, с.н.с.,  
лауреат Премії президента для молодих вчених  
**Сергій Бісик**

кандидат технічних наук, с.н.с.  
**Владислав Сотник**

# Resume

## MILITARY TECHNICAL POLICY

**Chepkov I.B.**, *Doctor of Science, Professor*

**Golovin O.O.**, *Ph.D., senior researcher*

**Zubarev O.V.**, *Ph.D., senior researcher*

*(Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine)*

**Svergunov O.O.**, *Ph.D., Associate Professor*

**Shostak V.G.**, *Deputy Director of Department of Military-Technical Policy, Development of Armaments of MOD of Ukraine (National Institute for Strategic Studies of Ukraine)*

### MILITARY-TECHNICAL POLICY: PROBLEMS OF EQUIPPING ARMED FORCES WITH AVIATION ARMAMENT, MILITARY AND SPECIAL EQUIPMENT IN CONDITIONS OF RESOURCE CONSTRAINTS

*A systematic analysis of various factors influencing the military-technical policy that emerged in recent years when solving the problems of equipping the armed forces with aircraft weapons systems, military and special equipment in the context of resource constraints was carried out. A methodical approach to assessing the military-technical policy is shown on the basis of the risk theory.*

**Dokuchaev O.V.**

*(Office of the Security Service of Ukraine in the Kharkiv region)*

**Svergunov O.O.**, *Ph.D., Associate Professor*

*(National Institute for Strategic Studies of Ukraine)*

**Zubarev V.V.**, *Doctor of Science, Professor*

**Chepkov I.B.**, *Doctor of Science, Professor*

*(Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine)*

### EVALUATION METHOD OF REALIZATION THE POLICY OF MILITARY-TECHNICAL COOPERATION (MTC) OF UKRAINE

*An approach is provided as to formation of methodology of the policy of MTC as a complex of the military-technical policy (MTP) of Ukraine. The materials of the article may be useful for specialists of the defense industry of Ukraine at the initial stages of assessing the level of military security of the state.*

*Key words: military-technical cooperation, military-technical policy, expert assessment, military security of the state.*

**Dovhopoly A.**, *D.Eng Professor,*

**Sotnyk V.**, *Ph.D. in Eng. Senior Research Fellow,*

**Tomchyk V.**, *Ph.D. in Eng. Senior Research Fellow,*

**Kopylova Z.**,

**Bura E.**

*(Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine)*

### THE PRIORITY DEVELOPMENT OF CRITICAL TECHNOLOGIES IS THE KEY TO STRENGTHENING THE STATE'S DEFENSE AND ECONOMIC GROWTH

*The world experience of development of critical technologies is considered, the state of development of this sphere in Ukraine is analyzed and some suggestions for solving problems on the way of development of the scientific and technological sphere of the state are developed.*

*ARMORED VEHICLES*

**Bisyk S.P.**, *Philosophy Doctor, Senior Research Fellow*

**Chepkov I.B.**, *Doctor of Science, Professor*

**Vaskivskyy M.I.**, *Doctor of Science, Professor*

**Davydovskiy L.S.**, *Philosophy Doctor,*

*(Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine)*

**Slyvinskyy O.A.**, *Philosophy Doctor, Associate Professor*

*(Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv)*

**Aristarkhov O.M.**, *Master of Science*

*(Ivan Chernyakhovsky National Defense University of Ukraine, Kyiv)*

**METHODS FOR MODELLING AIR BLAST ON STRUCTURES IN LS-DYNA. COMPARISON AND ANALYSIS**

*Comparison of numerical methods for modeling the impact of an explosion on a metal plate such as LOAD\_BLAST; LOAD\_BLAST\_ENHANCED; Arbitrary Lagrangian Eulerian; Particle Blast Method; Smooth Particle Hydrodynamics which are implemented in the program LS-DYNA. The adequacy and accuracy of these methods are evaluated depending on the distance ratio to the explosive charge. The advantages and disadvantages of each method and recommendations for their use based on the results of this modeling and the experience of the authors of this article are presented.*

*ARTILLERY WEAPONS & SMALL ARMS*

**Hurnovych A.V.**, *Doctor of Technical Science, Senior Research Fellow*

**Trofymenko V.G.**, *Research Fellow*

*(Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine)*

**METHODICAL APPROACH TO SOLVING THE INVERSE PROBLEM OF THE EXTERNAL BALLISTICS FOR THE DETERMINING OF DRAG FUNCTION OF THE FLIGHT OF A PROJECTILE WITHOUT THE SPECIALIZED EQUIPMENT**

*An approach to solving the problem of determining the drag function of the flight of a projectile based on the results of test firing without the specialized equipment for measuring the speed of the projectile on its trajectory is considered in paper. This approach provides the formation of individual drag functions for different types of projectiles, which allows to abandon standardized functions and, as a consequence, improve the accuracy of calculations.*

*The proposed approach is based on the inverse solution of a system of four first order differential equations describing the motion of a projectile in the air as a rigid body movement. The angles of shooting the projectile at different distances are used as the initial data.*

*Keywords: drag function, trajectory reduction of the projectile, differentiation of equation.*

**Shkurat O. I.**, *Head of the Department of Innovative Projects and Technology Transfer,*

**Baturin V. A.**, *PhD, Senior Researcher,*

**Buhajov S. I.**, *Leading Engineer,*

**Karpenko O. Yu.**, *Junior Researcher,*

**Kravchenko S. M.**, *Junior Researcher,*

**Kolomiets V. M.**, *PhD, Senior Researcher,*

**Kostetskyi V. I.**, *PhD, Senior Researcher*

**Lopatkin R. Yu.**, *PhD, Associate professor*

**Myronets Ye. A.**, *Junior Researcher*

*(Institute of Applied Physics National Academy of Sciences of Ukraine, Sumy, Ukraine)*

**Storizhko V. Yu.**, *Dr Sci, Academician of NAS of Ukraine, Prof.*

**Firstov S. O.**, *Dr Sci, Academician of NAS of Ukraine, Leading Researcher*

**Gorban V. F.**, *Dr Sci, Leading Researcher*

**Danylenko M. I.**, *PhD, Senior Researcher*

*(Frantsevich Institute for Problems of Materials Science National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine)*

## **DEVELOPMENT OF A TECHNOLOGY FOR PROCESSING A RIFLED BARREL CHANNEL TO IMPROVE WEAR-RESISTANCE OF THE BARREL**

At modern stage of scientific development of society and in different manufacturing spheres in particular, a considerable attention is paid to designing the high performance coatings for improving the materials properties. One of the most important and promising spheres of to apply the results is military defence since there is a need in improvement of wear and corrosion resistant properties of internal surfaces of the barrels. The work concerns studies performed to obtain a technology of improving the operational life of the barrels with a magnetron sputtering technique that permits obtaining high performance coatings in the view of physical and technical parameters and that is environmental friendly and safe for a human.

It is common to apply Ta, W, Mo, Nb and their alloys with Cr, Co, Zr, Ti, Fe added for a high performance internal coating of barrels. However, since industry of high performance explosives that increase impact on the barrel material develops, there are still problems in search of the best coating of its internal surface and a magnetron sputtering technique needs improving. The latter presupposes design of a magnetron sputtering system of higher capacity and of a specific shape in accordance with internal shape of the barrels. While solving these tasks, the authors at Institute of Applied Physics (Sumy) have constructed and efficiently tested a test specimen of a cylindrical magnetron system for cleaning and sputtering the coatings at internal surfaces of a barrel with dia at least 120 mm, since a magnetron can operate on direct, high-frequency or pulse current. The developed magnetron system allows sputtering both one- and multi-layer coatings that is one of its significant features. The coatings with Ta and Cr with high hardness and elasticity have been obtained to be potentially used as a coating of the barrel.

Thickness of the coatings was measured with multiple-beam interferometry at a microinterferometer MII-4, physical and mechanical properties were studied with Berkovich pyramid at "Micron-gamma" appliance at Institute for Problems in Material Sciences NAS of Ukraine (Kyiv).

**Key Words:** wear and corrosion resistant coatings, barrel channel, magnetron sputtering technique, cylindrical magnetron, hardness, elasticity.

**Maystrenko O.V.**, *Doctor of Military Sciences, Head of the Missile Forces Department of the Faculty of Missile Forces and Artillery*

*(National Academy of Army Forces named after Hetman Petra Sagaidachnogo, Lviv)*

**Artamoshchenko V.S.**, *Candidate of Technical Sciences, docent, Deputy Director of the Department of Military Education, Science, Social and Humanitarian Policy of the Ministry of Defense of Ukraine*

*(Department of Military Education, Science, Social and Humanitarian Policy of the Ministry of Defense of Ukraine, Kyiv)*

**Bubenshchikov R.V.**, *lecturer at the Department of Missile Forces of the Faculty of Missile Forces and Artillery (National Academy of Ground Forces named after Hetman Petra Sagaidachny, Lviv)*

**Stegura S.I.**, *Senior Lecturer at the Department of Missile Forces of the Faculty of Missile Forces and Artillery (National Academy of Ground Forces named after Hetman Petra Sagaidachny, Lviv)*

**Davydovskyi L.S.**, *senior researcher of the Research & Development department of Weapons and Equipment of Special forces*

*(Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine)*

### **APPROACH TO THE DEFINITION OF A FEASIBLE FUNCTIONAL AND ORGANIZATIONAL ASSOCIATION OF INDIVIDUAL FUNCTIONAL ELEMENTS OF THE ENEMY FIRE SUBSYSTEMS**

The combat use of rocket troops and artillery during the enemy's fiery defeat in the military conflicts of the last decades allowed for an analysis of the coincidence of the planned results and the actual ones. This analysis shows that often the actual results of the enemy's fire damage do not correspond to the planned one. The main reason for this inconsistency is the lack of matching of the capabilities of different enemy fire-fighting subsystems (intelligence, control, fire impact). This discrepancy is due to: a relatively small level of exposure of the enemy's objects at the time of planning the fire damage of the enemy, the inability to process the intelligence received by the available forces by means of control, the lack of forces and means of fire influence for the performance of tasks.

Also, the discrepancy between the capabilities of the intelligence subsystems, control and fire influence between them leads to a lack of realization of some opportunities with insufficient other possibilities. This is the reason for the non-fulfillment, in full volume, of the tasks of the enemy's fire damage, or the use of excessive forces and means to perform tasks.

The purpose of this research is to develop such an approach to determining the appropriate functional and organizational association of individual functional elements of the enemy fire subsystem, taking into account the possibilities of these, that is, the costs of their implementation.

The article highlights the approach to determining the appropriate functional and organizational association of the individual functional elements of the enemy fire subsystems, in particular: the method of determining the appropriate functional and organizational association of the individual functional elements of the enemy fire subsystems, which, in contrast to the existing ones, allows to take into account the costs of fire the defeat of the enemy and is based on the principle balance of forces and means of subsystems fire damage of the enemy and improved set of indicators of subsystem properties subsystems fire destruction of the enemy, and takes into account an improved approach to determining the factors that significantly affect the process of fire destruction of the enemy.

The application of this methodology will minimize the costs of combining separate functional elements, optimize the functional and organizational relationships between the individual functional elements and the subsystems of the enemy's fire damage, and increase the stability of the functioning of the subsystems by creating a certain reserve of forces and means. According to the calculations carried out in previous studies of the use of network-centric association of forces and means of fire damage of the enemy can increase the degree of implementation of opportunities for fire damage of the enemy, on average by 15%.

**Keywords:** enemy fire damage, intelligence, control, fire influence, functional and organizational association, separate functional elements.

**Boychun S.E.**, engineer, State Enterprise Design Bureau “Pivdenne” named after M.K. Yangel

### **MATHEMATICAL MODELING AND EXPERIMENTAL WORKING OFF OF GAS-LIQUID SYSTEMS FOR SEPARATION OF REACTIVE SHELLS (ON THE BASIS OF THE MATMECH PROGRAM PACKAGE)**

*This paper presents general information about the complex of mathematical models and experimental working off of separation systems of reactive shells based on the MATMECH software package. The article may be useful for scientific and technical workers of the defense industry.*

*Key words: heat-mechanical system, split ammunition, computer technology.*

### *AIRCRAFT ARMAMENT & FACILITIES*

**Smirnov V.**, Ph.D of Engineering, Senior Scientific Researcher,  
(Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine)

### **METHODOLOGICAL ASPECTS OF EFFECTIVENESS EVALUATION OF ACTIVE LIMITATION SYSTEMS OF MARGINAL AIRCRAFTS FLIGHT REGIMES IN MATHEMATICAL MODELING AND IN FLIGHT TESTING**

*While ensuring the safety of flights and increasing the combat capabilities of modern aircrafts great importance is connected to equipping them with the appropriate technical devices. The article is devoted to the analysis of the application on aircrafts of active limitation systems of marginal flight regimes which are designed to prevent the aircraft from leaving the valid values of attack angle (overload) during its combat application. The paper presents a mathematical model of an aircraft motion with an operating active automatic limiter of marginal flight regimes. The model allows to fulfill a preliminary assessment of an aircraft behavior with an operating limiter in different flight regimes, the influence of changes within the operating tolerances of the machine's parameters, aircraft alignment, etc. Methodological approaches to evaluation of active automatic limiters of marginal flight regimes in flight testing are developed.*

### *UAV*

**Silkov V.I.**, PhD, assistant professor  
**Zhevyuk A.A.**, PhD, Senior researcher  
(Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine)  
**Vorobiev N.M.**, Program director UAV “ANTONOV”

### **“DRONE” IN FUGOID FLIGHT**

*The article discusses the features of the flight stability of an unmanned aerial vehicle (UAV) in terms of speed, substantiates the criteria and limits of a stable flight, and provides indicators of the fugoid motion of UAVs. Stability was considered in two practically important flight modes: in a cruise flight along a given route and in free movement with no operator interference in control. The features of the flight in the first and second modes are shown, the reasons for the loss of stability are substantiated, and recommendations are developed for taking the aircraft out of the critical situation to safe speeds. The article discusses the features of the flight stability of an unmanned aerial vehicle (UAV) in terms of speed, substantiates the criteria and limits of a stable flight, and provides indicators of the fugoid motion of UAVs. Stability was considered in two practically important flight modes: in a cruise flight along a given route and in free movement with no operator interference in control. The features of the flight in the first and second modes are shown, the reasons for the loss of stability are substantiated, and recommendations are developed for taking the aircraft out of the critical situation to safe speeds.*



## NAVY ARMAMENT &amp; EQUIPMENT

**Chabanenko P.P.**, *doctor of military sciences, professor*

**Rozhonayev S.M.**, *Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher*

**Berezhniy O.M.**, *Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher*

*(Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine)*

**EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF OPERATION AND FIGHTING APPLICATION OF WEAPONS AND WINDOWS OF COFFEE EQUIPMENT WITH PERMANENT CONTRACTS OF MANAGEMENT UNDER THE PERFORMANCE INDICATOR OF THE IMPLEMENTATION OF THE PROBLEM**

*Developed method and method of estimation of efficiency of performance of objective for the case of interrupted process of exploitation and battle application of arming and military technique on the basis of ergo-networks graph-analytical models. Influence of feed-back on probability of faultless performance of objective for the explored process is shown computations (on a model).*

## PRODUCTION, MODERNIZATION, MAINTENANCE

**Petruk S.M.**,

**Paschenko O.V.**

*(Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine)*

**METHODICAL ASPECTS OF INCREASING THE RESOURCE INDICATORS OF SPECIFIED ARMS AND MILITARY EQUIPMENT**

*Based on the analysis of scientific, technical, industrial, technological and regulatory aspects, the article proposes a set of measures to extend (increase) the established resource indicators of arms and military equipment, as well as to create comprehensive conditions for their subsequent safe operation without author supervision from the developers. Analysis of the forecasting methods that can be applied in predicting the technical state of arms and military equipment, shows that the most acceptable in this sense is the method of V.S. Pugachev, based on orthogonal representations of the random process that is being studied.*

## INTELLECTUAL PROPERTY

**Komarov V.O.**, *Head of the Scientific-Research Department of Patent-Licensing, Inventive and Innovative Activities*

**Moskvitin O.O.**, *Ph.D. in Engineering Science, Leading Research Fellow of the Scientific-Research Department of Patent-Licensing, Inventive and Innovative Activities*

**Yaremenko M.P.**, *Senior Scientific Fellow of the Scientific-Research Department of Patent-Licensing, Inventive and Innovative Activities*

**Kurovsky T.Y.**, *Senior Scientific Fellow of the Scientific-Research Department of Patent-Licensing, Inventive and Innovative Activities*

*(Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine)*

**LEGAL AND REGULATORY ACCOMPANIMENT OF THE PROCESS OF CREATION OF THE INTELLECTUAL PROPERTY OBJECTS IN THE USA**

*In the article were considered issues concerning the fundamental importance of intellectual property and its protection in the United States of America. It was indicated that the Administration of the President of the USA works to promote strong intellectual property rights protection and enforcement, both domestically and abroad. As part of an integrated approach, Administration of the President of the USA views intellectual*

*property strategy, policy and enforcement efforts, together, as key to helping secure the future of the innovative economy and to maintaining competitive advantage.*

*The USA continue to build on past strategic efforts in all areas of intellectual property policy, including patents, copyrights, trademarks and trade secrets, both domestically and abroad. But US Administration also recognizes that for the United States to maintain its future economic competitiveness, America needs to think strategically, regard America's inventive and creative capacity as something that must be protected, promoted and prioritized.*

*Of particular interest to the Ukrainian side is the practice of the US Ministry of Defense regulations regarding intellectual property which were expanded considerably over the years, and today are quite robust. An intellectual property section of the Acquisition Strategy is a statutory requirement at DOD acquisition Milestone. An intellectual property strategy annex must become part of the Life-Cycle Sustainment Plan during the operations and support phase. Advances in technology, expanded use of commercial components, and increasing software content in DOD weapon systems have made intellectual property issues more contentious between DOD and its contractors, especially original equipment manufacturers. This is due in part to ambiguities in determining whether and how much a contractor or the government funded particular developments.*

## **ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ**

Шановні читачі!!!

Доводимо до Вашого відома, що в нашому видавництві пройшли суттєві зміни щодо оформлення та подання статей до нашого видання.

По-перше, відкрито сайт журналу, на якому більш докладніше викладені вимоги до наших публікацій. Ознайомитися можна за посиланням

**[https:// journal.cndiovт.com.ua](https://journal.cndiovт.com.ua)**

По-друге, звертайтеся до редакції журналу за телефоном: **+38(097)389-79-10,**

**Чучмій Андрій Володимирович,**

**E-mail: a\_chuchmiy@ukr.net**

**E-mail: cndi\_ovт@mil.gov.ua.**

Дата друкування 26.03.2019. Формат 60 x 84 1 / 8. Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman. Друк офсетний.  
Обсяг 16,25 ум. др. арк., 9,00 обл.-вид. арк. Наклад 250 прим. Зам. № 1758-1.

**Видавничий дім Дмитра Бураго**

Свідоцтво про внесення до державного реєстру ДК № 2212 від 13.06.2005 р.  
04080, Україна, м. Київ-80, а / с 41

**Тел. / факс:** (044) 227-38-28, 227-38-48; **e-mail:** [info@burago.com.ua](mailto:info@burago.com.ua), **site:** [www.burago.com.ua](http://www.burago.com.ua)