



МІНІСТЕРСТВО ОБОРОНИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ПОВІТРЯНИХ СИЛ ІМЕНІ ІВАНА КОЖЕДУБА

ISSN 2073-7378

# ЗБІРНИК наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил

Щоквартальне  
наукове видання

2 (51) 2017

**Заснований  
у квітні 2005 року**

Відображені наукові досягнення у військовій та технічній галузях та їх впровадження у Збройних Силах України. Збірник призначений для наукових працівників, викладачів, докторантів, ад'юнктів, аспірантів, а також курсантів та студентів старших курсів відповідних спеціальностей

**Засновник і видавець:**  
Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба

61023, м. Харків-23,  
вул. Сумська, 77/79, НЦ ПС

**Телефон:**  
+38 (057) 704-91-97  
+38 (067) 998-02-70

**E-mail редакції:**  
red@hups.mil.gov.ua  
red.hnups@gmail.com

**Інформаційний сайт:**  
www.hups.mil.gov.ua

**ЗБРОЙНА БОРОТЬБА:  
ТЕОРІЯ, ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, ДОСВІД**  
—★—  
**АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ РОЗВИТКУ  
ЗБРОЙНИХ СИЛ**  
—★—  
**ІНФОРМАЦІЙНА БЕЗПЕКА ДЕРЖАВИ**  
—★—  
**ЛІТАЛЬНІ АПАРАТИ:  
АЕРОДИНАМІКА, СИЛОВІ УСТАНОВКИ,  
ОБЛАДНАННЯ, ОЗБРОЄННЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ**  
—★—  
**ЗВ'ЯЗОК, РАДІОТЕХНІКА, РАДІОЛОКАЦІЯ,  
АКУСТИКА ТА НАВІГАЦІЯ**  
—★—  
**КІБЕРНЕТИКА ТА СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ**  
—★—  
**МЕХАНІКА, МАШИНОЗНАВСТВО  
ТА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ**  
—★—  
**МЕТРОЛОГІЯ ТА ВИМІРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА**  
—★—  
**ЗАПОБІГАННЯ ТА ЛІКВІДАЦІЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ**  
—★—  
**АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ НАВЧАННЯ**  
—★—  
**ЕКОЛОГІЧНІ ПИТАННЯ**  
—★—

Харків • 2017

## РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

### **Головний редактор:**

Васюта Костянтин Станіславович (д-р техн. наук проф., ХНУПС).

### **Заступник головного редактора:**

Ярош Сергій Петрович (д-р військ. наук проф., ХНУПС).

### **Члени редакційної колегії:**

Василець Віталій Олексійович (д-р техн. наук с.н.с., ХНУПС);  
Городнов В'ячеслав Петрович (д-р військ. наук проф., ХНУПС);  
Деденок Віктор Петрович (д-р техн. наук проф., ХНУПС);  
Дробаха Григорій Андрійович (д-р військ. наук проф., ХНУПС);  
Єрмошин Михайло Олександрович (д-р військ. наук проф., ХНУПС);  
Калкаманов Салім Аюпович (д-р техн. наук проф., ХНУПС);  
Кобзев Анатолій Васильович (д-р техн. наук проф., ХНУПС);  
Корнієнко Леонід Григорович (д-р техн. наук проф., ХНУПС);  
Пацек Богуслав (д-р військ. наук проф., Університет Яна Кохановського, Польща);  
Романенко Ігор Олександрович (д-р техн. наук проф., ЦНДІ ОВТ ЗС України);  
Рубан Ігор Вікторович (д-р техн. наук проф., ХНУРЕ);  
Сотніков Олександр Михайлович (д-р техн. наук проф., ХНУПС);  
Стасєв Юрій Володимирович (д-р техн. наук проф., ХНУПС);  
Сухаревський Олег Іллч (д-р техн. наук проф., ХНУПС);  
Худов Геннадій Володимирович (д-р техн. наук проф., ХНУПС);  
Чачкіані Арчіл (канд. військ. наук, Національна академія оборони Грузії);  
Шарий Володимир Іванович (д-р військ. наук проф., НУО України);  
Шмаков Олександр Миколайович (д-р військ. наук проф., ХНУПС).

### **Відповідальний секретар:**

Тристан Андрій Вікторович (канд. техн. наук с.н.с., ХНУПС).

*Затверджений до друку вченою радою Харківського національного  
університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба  
(протокол від 29 червня 2017 року № 9)*

*Занесений до "Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися  
результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук"  
(технічні та військові науки), затверджено наказом Міністерства освіти і науки України  
від 22.12.2016 № 1604*

*Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації  
КВ № 22360 – 12260ПР від 10.10.2016 р.*

*За достовірність викладених фактів, цитат та інших відомостей відповідальність несе автор*



**Інформаційний сайт видання:** [www.hups.mil.gov.ua](http://www.hups.mil.gov.ua).

Реферативна інформація зберігається у загальнодержавній реферативній базі даних „Україніка наукова” та публікується у відповідних тематичних серіях УРЖ „Джерело”.

**Видання індексується міжнародними бібліометричними та наукометричними базами даних:** *Academic Resource Index (EC), Google Scholar (США), Scientific Indexed Service (США), Index Copernicus (Польща), Open Academic Journals Index (EC), General Impact Factor (EC).*

**Наукометричні показники:**

*ICV (Index Copernicus Value) = 57.31*

*Google Scholar Top 100 publications (Ukrainian) – 31*

## З М І С Т

### ЗБРОЙНА БОРОТЬБА: ТЕОРІЯ, ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, ДОСВІД

<b>Агафонов Ю.М., Звиглянич С.М., Ізюмський М.П.</b> Підходи до автоматизації процесу прийняття рішень на застосування зброї .....	6
<b>Гуляк О.В., Дем'янчук Б.О., Сотников О.М.</b> Вибір способу збереження функцій пункту бойового управління .....	9
<b>Колесник О.М., Лещенко С.П., Крищенко В.В., Ковбаса П.С.</b> Напрямки удосконалення системи імітаційного моделювання бойового застосування радіотехнічних підрозділів .....	13
<b>Пегахін І.А., Стародубцев С.О., Варакута В.П., Забула О.Є., Чернявський О.Ю.</b> Протиріччя, що виникають у ході загальновійськового бою та шляхи їх вирішення .....	17
<b>Шинкарьов Є.М., Городнов В.П., Лазебник С.В., Місюра О.М.</b> Методичний підхід до оцінки ефективності системи управління протиповітряною обороною .....	25

### АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ РОЗВИТКУ ЗБРОЙНИХ СИЛ

<b>Башинський В.Г., Добришкін Ю.М., Собора А.І.</b> Розробка моделі оптимального використання засобів полігонного вимірювально- обчислювального комплексу на основі критерію вартість/точність .....	28
<b>Гурин О.М.</b> Методика формування раціональної структури системи матеріального забезпечення повітряного командування Повітряних Сил Збройних Сил України у повітряній операції .....	35
<b>Комаров В.С., Косогов О.М., Курдюк В.Ф.</b> Методичний підхід до обґрунтування раціонального складу органів військового управління .....	40
<b>Макєєв В.І., Петренко В.М., Житник В.Є., Раскошній А.Ф.</b> Показники військово-економічного аналізу та методи їх оцінки .....	46
<b>Семененко О.М., Водчиць О.Г., Семененко Л.М., Бойко Р.В., Башинський Д.В., Зубрицька Г.Г.</b> Метод оцінювання ефективності виконання програм (планів) розвитку Збройних Сил України з урахуванням повноти та своєчасності їх фінансування .....	51

### ІНФОРМАЦІЙНА БЕЗПЕКА ДЕРЖАВИ

<b>Пічугін М.Ф., Карлов Д.В., Клімишен О.О., Кожушко Я.М.</b> Огляд програм та вимог керівних документів країн НАТО стосовно космічної ситуаційної обізнаності .....	59
<b>Снігуров А.В., Балашов В.Ю., Сердюк А.Ю.</b> Аналіз механізмів реалізації мережевих атак прикладного рівня в інтересах проведення криміналістичних розслідувань кіберзлочинів .....	64

## C O N T E N T S

### MILITARY STRUGGLE: THEORY, SUPPORT AND EXPERIENCE

<b>Agafonov Yu., Zviglyanich S., Izyumskiy N.</b> An approach of automation weapon usage decision-making process .....	6
<b>Gulyak O., Demyanchuk B., Sotnikov O.</b> Selection of a method for preserving the functions of the battle management point .....	9
<b>Kolesnik O., Leshchenko S., Krishchenko V., Kovbasa P.</b> Areas of improvement of simulation system of combat use of radio-radar units .....	13
<b>Pehatin I., Starodybtsev S., Varakuta V., Zabula O., Chernyavskyy O.</b> Contradictions arising in the current of community fighting and the way of their solution .....	17
<b>Schinkarev Ye., Gorodnov V., Lazebnik S., Misura O.</b> Methodical approach to assessing the effectiveness of the air defense control system .....	25

### PRESSING ISSUES OF ARMED FORCES DEVELOPMENT

<b>Bashinskiy V., Dobryshkin Y., Sobora A.</b> The development of a model based on the cost/accuracy criterion for the optimal use of a ground range measuring and computing complex .....	28
<b>Gurin O.</b> Methodology of determination of the rational structure of the system of material safety of action of the aircraft team of the Air Forces of the armed forces of Ukraine in the air operation .....	35
<b>Komarov V., Kosogov O., Kurdyuk V.</b> Methodical approach to justification of the rational composition bodies of military management .....	40
<b>Makeev V., Petrenko V., Zhytnyk V., Raskoshniy A.</b> Indices of military and economic analysis and methods of their assessment .....	46
<b>Semenenko O., Vodchits A., Semenenko L., Boyko R., Bashinskiy D., Zubrytska H.</b> The estimation method of programs implementation effectiveness (plans) of the development of the armed forces of Ukraine with a glance of the full and timely financing of them .....	51

### NATIONAL CYBERSECURITY

<b>Pichugin M., Karlov D., Klimishen A., Kozhushko Ya.</b> Review of programs and requirements of NATO steering documents for the outside of space situational awareness .....	59
<b>Snigurov A., Balashov V., Serdyk A.</b> Analysis of mechanisms of network attacks at the application layer for criminal investigations of cyber crimes .....	64

**ЛІТАЛЬНІ АПАРАТИ: АЕРОДИНАМІКА,  
СИЛОВІ УСТАНОВКИ, ОБЛАДНАННЯ,  
ОЗБРОЄННЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ**

<b>Бабій Ю.О., Клепиковський А.В., Ковальов В.О.</b> Розробка перспективного ударно-розвідувального безпілотного літального апарату .....	69
<b>Бездельний В.В., Мишкова А.А., Шелудько М.Н.</b> Определение профильного сопротивления тела в аэродинамической трубе .....	72
<b>Сафронов О.В. Неділько О.М. Сафронов В.О.</b> Математичні моделі оцінки впливу демпферів сухого тертя на рівень коливань аеродинамічних поверхонь керування літаків при виникненні трансзвукового флатеру .....	76
<b>Соколовський В.В., Мудрик В.Г.</b> Розвиток вітчизняних безпілотних літальних апаратів в умовах проведення антитерористичної операції на сході України .....	81

**ЗВ'ЯЗОК, РАДІОТЕХНІКА, РАДІОЛОКАЦІЯ,  
АКУСТИКА ТА НАВІГАЦІЯ**

<b>Бовда Е.М., Сальник В.В.</b> Методи забезпечення якості обслуговування в сучасних телекомунікаційних мережах військового призначення .....	85
<b>Василишин В.І., Мацина К.Г., Лук'янюк Р.А., Косіхін Р.В.</b> Аналіз ефективності попередньої обробки сигналів модифікованим методом SSA .....	95
<b>Борейко О.О., Дрозд К.А., Фустій В.С.</b> Аналіз стану вирішення проблеми узгодження динамічних характеристик відеопотоку і інфокомунікаційних мереж .....	99
<b>Глушко А.П., Чечуй О.В., Сінько В.В., Зотов М.С.</b> Особливості побудови телевізійної системи повітряної розвідки з покращеними характеристиками .....	104
<b>Гордієнко Ю.О., Солонець О.І., Кошель А.В., Руденко Д.В.</b> Аналіз методів виявлення сейсмічних сигналів за результатами спостережень трикомпонентною сейсмічною станцією .....	107
<b>Довгалик Р.Ю.</b> Порівняння критеріїв різкості зображень для використання в цифровій голографії .....	111
<b>Кандирін М.П.</b> Приклади практичного проектування цифрових обчислювальних синтезаторів сигналів на інтегральних мікросхемах .....	117
<b>Костенко П.Ю., Слободянюк В.В., Акімов О.О., Потапова Н.Д.</b> Розвиток методів розмноження даних для вирішення задачі фільтрації шуму в спостереженні сигналу .....	126
<b>Кузнєцов О.Л., Коломійцев О.В., Садовий К.В.</b> Розрізнення за шляховою дальністю РЛС з синтезованою антенною решіткою в умовах впливу неоднорідностей атмосфери .....	130

**AIRCRAFT: AERODYNAMICS,  
POWERPLANTS, EQUIPMENT  
AND ARMAMENT**

<b>Babiy Y., Klepikovskiy A., Kovalev V.</b> Development of the perspective shock-breaking universal battle flying apparatus .....	69
<b>Bezdelyniy V., Mishkova A., Sheludko M.</b> The definition of the profile of the resistance body in the pipe aerodynamically .....	72
<b>Safronov A., Nedił'ko A., Safronov V.</b> Mathematical model to estimate dry friction damper influence to aerodynamic aircraft control surfaces vibration amplitude in case of transonic flutter .....	76
<b>Sokolovsky V., Mudrik V.</b> National development bespilotnyh lethal device in conditions antiterorystychnoy of operations in east Ukraine .....	81

**COMMUNICATION, RADIO ENGINEERING,  
RADAR, ACOUSTICS AND NAVIGATION**

<b>Bovda E., Salnyk V.</b> Methods of ensuring quality of service in modern telecommunications networks for military purposes .....	85
<b>Vasylyshyn V., Matsina K., Lukianiuk R., Kasihin R.</b> Analysis of the signal preprocessing efficiency by modified SSA method .....	95
<b>Boreiko O., Drozd K., Fustii V.</b> Matching dynamic features of video stream to information network: problem solving analysis .....	99
<b>Gluschko A., Chechuy O., Sin'ko V., Zotov M.</b> Features of the building o f aerial reconnaissance television system with improved characteristics .....	104
<b>Gordienko Yu., Solonets A., Koshel A., Rudenko D.</b> Analysis of seismic signals detection methods on the three-component seismic station supervisions results .....	107
<b>Dovhaliuk R.</b> Image sharpness measures comparison for application in digital holography .....	111
<b>Kandyrin N.</b> Examples of digital direct synthesizers practical designing of signals on integrated microcircuits .....	117
<b>Kostenko P., Slobodyanuk V., Akimov O., Potapova N.</b> Development of methods reproduction of data for solving the problem of noise filtration in observed signal .....	126
<b>Kuznietsov O., Kolomytsev O., Sadovyi K.</b> The track distance distinction of synthesized radar antenna array under the influence of atmosphere's heterogeneity .....	130

<b>Петренко В.Р., Білак П.В., Беляк С.П.</b> Використання сигналів цифрового ефірного телебачення для створення прихованого радіолокаційного поля .....	134	<b>Petrenko V., Bilak P., Belyak S.</b> Using signals digital terrestrial television for creating stealth radiotracking area .....	134
<b>Стасєв С.Ю.</b> Технологія обробки відеокадрів для бортових засобів телекомунікацій .....	137	<b>Stasev S.</b> The videoframe processing technology for on-board means telecommunications .....	137
<b>Сургай М.В., Залевський Г.С., Василюк В.О., Сухаревський О.І.</b> Оцінювання рівня радіолокаційної помітності снаряду ракетної системи залпового вогню "Град" у різних діапазонах довжин хвиль .....	142	<b>Surgay M., Zalevsky G., Vasilets V., Sukharevsky O.</b> Estimation of the radar visibility level of rocket of the multiple rocket launcher "Grad" in different wave bands .....	142
<b>Шишацький А.В., Кувшинов О.В., Петрунчак С.П.</b> Методика вибору режимів роботи багатоантенних систем військового радіозв'язку .....	149	<b>Shishatskiy A., A Kuvshinov., Petrunchak S.</b> The method of selecting the operating mode of multi-antenna military radiocommunication systems .....	149
<b>КІБЕРНЕТИКА ТА СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ</b>		<b>CYBERNETICS AND SYSTEM ANALYSIS</b>	
<b>Жиров Г.Б., Ленков Є.С., Толук І.В.</b> Аналіз математичних моделей технічного обслуговування складних технічних об'єктів .....	153	<b>Zhyrov G., Lenkov E., Tolok I.</b> Analysis of mathematical models of complex technical maintenance facilities .....	153
<b>МЕХАНІКА, МАШИНОЗНАВСТВО ТА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ</b>		<b>MECHANICS, CONSTRUCTION AND ELECTRICITY SUPPLY SYSTEM</b>	
<b>Греков В.П., П'янков А.А., Ткаченко Ю.А.</b> Методика вибору точок кріплення домкрату на стрілі і на рамі вантажопідіймального агрегату .....	158	<b>Grekov V., Pjankov A., Tkachenko Yu.</b> The method of selections the points of the jack attachment to the boom and frame of the load lifting unit .....	158
<b>Трошин О.Н.</b> Термодинамические условия достижения аномально низкого трения и изнашивания в трибологии .....	161	<b>Troshin O.</b> Thermodynamic conditions for the achievement of the anomalously low friction and wear in tribology .....	161
<b>МЕТРОЛОГІЯ ТА ВИМІРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА</b>		<b>METROLOGY AND MEASURING EQUIPMENT</b>	
<b>Носова Я.В., Аврунин О.Г., Семенец В.В.</b> Разработка конструкции ольфактометрической насадки .....	166	<b>Nosova Y., Avrunin O., Semenets V.</b> Development of the design of the olfaktometric apparatus .....	166
<b>ЗАПОБІГАННЯ ТА ЛІКВІДАЦІЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ</b>		<b>EMERGENCY PREVENTION AND MITIGATION</b>	
<b>Писарєв А.В., Радченко І.О., Тузіков С.А., Писарєв С.А., Лазутський А.Ф.</b> Методика оцінки ступеня і повноти дезактивації об'єктів, забруднених радіоактивними речовинами .....	170	<b>Pisarev A., Radchenko I., Pisarev S., Lazutskiy A., Tuzikov S.</b> Develop an integrated system of systematic monitoring of radiation situation at through various methods .....	170
<b>АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ НАВЧАННЯ</b>		<b>PRESSING EDUCATION ISSUES</b>	
<b>Шмаков О.М.</b> Необхідність підвищення мотивації офіцерського складу із засвоєння програм підготовки магістрів оперативно-тактичного рівня .....	175	<b>Shmakov O.M.</b> The need to increase the motivation of the officers in mastering the programs for training masters of the operational-tactical level .....	175
<b>ЕКОЛОГІЧНІ ПИТАННЯ</b>		<b>ENVIRONMENTAL PROBLEMS</b>	
<b>Казимагомедов І.Э., Рачковский А.В., Казимагомедов Ф.И.</b> Шлакощелочные вяжущие на основе шлаков дезинтеграторного измельчения .....	179	<b>Kazimagomedov I., Rachkovskiy A., Kazimagomedov F.</b> Alkalescent stricken based schlacke disintegrator grinding .....	179
<b>Наші автори</b> .....	182	<b>Authors</b> .....	182
<b>Алфавітний покажчик</b> .....	186	<b>Alphabetical index</b> .....	186
<b>Інформація</b> .....	187	<b>Information</b> .....	187

# Кібернетика та системний аналіз

УДК 621.396

Г.Б. Жиров<sup>1</sup>, Є.С. Ленков<sup>2</sup>, І.В. Толлок<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Військовий інститут Київського національного університету ім. Т. Шевченка, Київ

<sup>2</sup> Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації, Київ

## АНАЛІЗ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

*В статті проводиться аналіз найбільш розповсюджених математичних моделей технічного обслуговування. Визначення переваг та недоліків відомих моделей необхідно для створення нових моделей технічного обслуговування, які будуть взяті за основу при створенні загальної інформаційної технології технічного обслуговування і ремонту.*

*Встановлено, що відомі на теперішній час математичні моделі і методи розрахунку оптимальних параметрів процесів технічного обслуговування мало придатні для застосування до реальних технічних об'єктів. Основний недолік цих моделей полягає в тому, що в них не враховується складна структура об'єкта, або є можливість враховувати тільки деякі найпростіші структури.*

**Ключові слова:** технічне обслуговування, математична модель, технічний стан.

### Вступ

Складні технічні об'єкти в сучасному суспільстві мають виключно важливе значення. У першу чергу йдеться про різноманітні радіоелектронні комплекси, радіолокаційні станції, автоматизовані системи управління (повітряним рухом, об'єктами енергетики і т.п.). Від рівня безвідмовності таких об'єктів залежить обороноздатність держави, економічна безпека та життя людей.

Складні технічні об'єкти відносяться до класу відновлюваних об'єктів тривалого багаторазового застосування. Вони, як правило, є дорогими і вимагають значних витрат на їх експлуатацію. Для забезпечення необхідного рівня безвідмовності в процесі їх експлуатації зазвичай проводиться технічне обслуговування (ТО).

Характерною особливістю складних технічних об'єктів є наявність в їх складі великої кількості різнотипних комплектуючих елементів, які мають різний рівень надійності, різні закономірності процесів їх зносу, старіння та деградації. Ця особливість вимагає більш тонкого підходу до організації і планування ТО в процесі їх експлуатації.

Проблема полягає в тому, що при розробці таких об'єктів всі питання, що пов'язані з ремонтпридатністю і технічним обслуговуванням повинні вирішуватися вже на ранніх етапах проектування об'єкта. Якщо не передбачити заздалегідь необхідні апаратні і програмні засоби вбудованого контролю технічного стану (ТС) об'єкта, або не створити автоматичну (автоматизовану) систему технічного діагностування, не розробити і не "вбудувати" в

об'єкт технологію проведення ТО, то реалізувати в майбутньому можливий виграв в безвідмовності об'єкта за рахунок проведення ТО у повній мірі не вдасться. Оскільки всі ці питання повинні вирішуватися на етапі створення об'єкта, то виникають задачі щодо створення математичних моделей процесу ТО, за допомогою яких можна було б прорахувати можливий виграв в рівні безвідмовності об'єкта за рахунок проведення ТО, оцінити необхідні для цього вартісні витрати. Потім на підставі таких розрахунків, необхідно прийняти рішення щодо проведення ТО для даного типу об'єктів і, якщо таке рішення прийнято, розробити структуру системи ТО, вибрати найбільш прийнятну стратегію ТО, визначити її оптимальні параметри.

**Постановка завдання.** У статті ставить завдання провести аналіз математичних моделей технічного обслуговування, які найбільш часто цитуються у науковій літературі. Визначення переваг та недоліків відомих моделей необхідно для створення нових моделей ТО, які будуть взяті за основу при створенні загальної інформаційної технології ТОiP.

### Результати дослідження

Розробкою математичних моделей ТО займалися багато вчених, таких як: Барзилович Е.Ю., Барлоу Р., Каштанов В.А., Кокс Д., Креденцер Б.П., Прошан Ф., Смит В., Ушаков І.А. тощо. Розглянемо сутність деяких найбільш цитуємих математичних моделей ТО.

**Модель Е.Ю. Барзиловича [1–3].** Розглядається елемент старіючого типу. Елемент може бути замінений в порядку профілактичного обслуговування, і при цьому час заміни дорівнює  $T_2$ , або в аварійному

порядку, час аварійної заміни складає  $T_1$ . Вважається, що  $T_1 \geq T_2$ , так як при аварійній заміні, як правило, виконуються додаткові перевірки.

Задача полягає в тому, щоб визначити величину ресурсу (наробітку), після витрати якого, елемент повинен бути замінений (відновлений). Як показник, за яким вибирається оптимальне значення ресурсу до профілактичної заміни, прийнятий коефіцієнт оперативної готовності  $k_{or}(t, x)$  – ймовірність того, що елемент буде перебувати в справному стані в довільний момент часу  $t$  і пропрацює безвідмовно в інтервалі  $(t, t + x)$ . Функція розподілу напрацювання до відмови елемента дорівнює  $F(t)$ .

Спочатку приймається припущення про те, що час до планової заміни є випадковою величиною, що має функцію розподілу  $G(t)$ .

Передбачається тривала експлуатація об'єкта, тому розглядається показник  $k_{or}(t, x)$  при  $t \rightarrow \infty$ , тобто,  $k_{or}(x) = \lim_{t \rightarrow \infty} k_{or}(t, x)$ .

З використанням вузлової теореми відновлення [4] для ймовірності  $p(x)$  записується наступний вираз:

$$k_{or}(x) = \frac{\int_0^{\infty} [1 - G(t)][1 - F(t+x)]dt}{\int_0^{\infty} [1 - G(t)][1 - F(t)]dt + T_1 \int_0^{\infty} F(t)dG(t) + T_2 \int_0^{\infty} G(t)dF(t)} \quad (3)$$

При припущенні щодо випадковості періодичності заміни задача, що розглядається, по суті, полягає у визначенні оптимальної функції  $G(t)$ , при якій ймовірність  $k_{or}(x)$  приймала б максимальне значення. У такій постановці, дане завдання є складним завданням варіаційного числення.

Тому вихідне загальне завдання зводиться до задачі дослідження на екстремум функції однієї змінної наступним чином.

Клас, в якому шукається шукана функція, звужується до розподілів такого вигляду:

$$G(t, \tau) = \begin{cases} 0 & \text{при } t \leq \tau; \\ 1 & \text{при } t > \tau. \end{cases} \quad (4)$$

Далі в [2] показується, що з урахуванням (4) вираз (2) можна перетворити до наступного вигляду:

$$k_{or}(x, \tau) = \frac{\int_0^{\tau} [1 - F(t+x)]dt}{\int_0^{\tau} [1 - F(t)]dt + T_2 + (T_1 - T_2)F(\tau)} \quad (5)$$

В результаті диференціювання виразу (5) по  $\tau$  і привітнювання результату до нуля, знаходиться умова екстремуму функції  $k_{or}(x, \tau)$ . Після деяких

$$k_{or}(x) = \frac{1}{\mu} \int_0^{\infty} [1 - G(t)][1 - F(t+x)]dx, \quad (1)$$

де  $\mu$  – математичне очікування інтервалу між замінами елемента (після відмови, або після профілактичної заміни).

Величина  $\mu$ , за формулою повного математичного очікування дорівнює:

$$\mu = \int_0^{\infty} [1 - G(t)][1 - F(t)]dt + T_1 \int_0^{\infty} F(t)dG(t) + T_2 \int_0^{\infty} G(t)dF(t). \quad (2)$$

Перший доданок виразу є математичне очікування часу роботи елемента без відмов і заміни, другий доданок – частка часу (від величини  $T_1$ ), яка припадає на відновлення елемента, що відмовив, а останній доданок – частка часу (від величини  $T_2$ ), яка припадає на попереджувальні заміни.

З урахуванням (2) вираз (1) переписується у вигляді:

спрощень умову максимуму функції  $k_{or}(x, \tau)$  по  $\tau$  можна представити наступним наближеним рівнянням:

$$\frac{T_2}{T_1 + x} \cong 1 - \frac{1}{1 - F(\tau) + \lambda(\tau) \int_0^{\tau} [1 - F(t)]dt} \quad (6)$$

Перевагою розглянутої моделі, є її математична строгість і спільність припущень про можливий вид функції  $F(t)$ . Недоліком моделі є те, що в якості об'єкта, який обслуговується розглядається окремий елемент, або, що одне і те ж, система без урахування її структури. Таким чином, даний недолік фактично знецінює її переваги, так як модель виявляється непридатна в практичних випадках.

**Модель Каштанова** [5–6]. Система складається з  $N$  послідовно з'єднаних різних елементів. Відмови в системі проявляються миттєво.

У системі можливе проведення непланової попереджувальної профілактики (ПП) і непланового аварійного ремонту (АР). При ПП відбувається повне оновлення системи, а при АР проводиться тільки заміна елемента, що відмовив. ПП проводиться в момент часу, коли напрацювання системи досягає

величини  $\eta$ , яка розподілена за законом  $G(x) = P(\eta < x)$ . Якщо до цього часу відбувається відмова, то проводиться оновлення елемента, що відмовив, після чого експлуатація системи триває.

Таким чином, процес експлуатації системи описується регенеруючим випадковим процесом, який може перебувати в одному з наступних трьох станів:  $e_0$  – система працездатна;  $e_1$  – проводиться неплановий АР;  $e_2$  – проводиться неплановий ПП.

Завдання оптимізації ТО формується в такий спосіб. Потрібно визначити показник якості (ПЯ) функціонування системи, встановити залежність цього ПЯ від функції  $G(x)$  і знайти таку функцію  $G_0(x)$ , при якій ПЯ приймає екстремальне значення.

Показник якості є функціоналом наступного виду:  $I(G, F_1, F_2, \dots, F_N)$ , де  $F_i$  – функція розподілу напрацювання до відмови  $i$ -го елемента. З огляду на це завдання оптимізації ТО формально можна записати у вигляді умови:

$$I(G_0, F_1, F_2, \dots, F_N) = \text{extr}_G I(G, F_1, F_2, \dots, F_N). \quad (7)$$

Також в [5] доводиться, що в разі регенеруючого випадкового процесу функціонал є дрібно-раціональним функціоналом щодо функції  $G(x)$ . В цьому випадку оптимальну функцію  $G_0(x)$  можна шукати в класі вироджених функцій розподілу:

$$G(x) = \begin{cases} 0 & \text{при } x \leq \tau; \\ 1 & \text{при } x > \tau. \end{cases}$$

З урахуванням цього можна записати наступні вирази для найбільш важливих і поширених ПЯ.

Коефіцієнт технічного використання:

$$K_{\text{тв}}(\tau) = \frac{\tau}{\tau + \bar{T}_{\text{пт}} + \sum_{i=1}^N \bar{T}_{\text{ар}i} H_i(\tau)}, \quad (8)$$

де  $\bar{T}_{\text{пт}}$  – математичне очікування тривалості ПП;  $\bar{T}_{\text{ар}i}$  – математичне очікування тривалості АР  $i$ -го елемента;  $H_i(t)$  – функція, яка знаходиться, як рішення інтегрального рівняння відновлення, що має такий вигляд:

$$H_i(t) = F_i(t) + \int_0^t F_i(t-x) dH_i(x). \quad (9)$$

Середні питомі витрати вартості на експлуатацію системи:

$$c(\tau) = \frac{c_{\text{пт}} \bar{T}_{\text{пт}} + \sum_{i=1}^N c_{\text{ар}i} \bar{T}_{\text{ар}i} H_i(\tau)}{\tau}, \quad (10)$$

де  $c_{\text{пт}}$  – витрати в одиницю часу при проведенні непланової ПП;

$c_{\text{ар}i}$  – витрати в одиницю часу при проведенні позапланового АР  $i$ -го елемента.

Ймовірність виконання завдання:

$$R_z(\tau) = \frac{\int_0^\tau \prod_{j=1}^N \left[ \bar{F}_j(x+z) + \int_0^x \bar{F}_j(x+z-y) dH_j(y) \right] dx}{\tau + \bar{T}_{\text{пт}} + \sum_{i=1}^N \bar{T}_{\text{ар}i} H_i(\tau)}, \quad (11)$$

де  $z$  – час виконання завдання;  $\bar{F}_i(x) = 1 - F_i(x)$ .

Алгоритм розв'язання задачі (7) зводиться до наступного:

1) розробити процедуру вирішення інтегрального рівняння (9);

2) визначити значення часу  $\tau_0$ , при яких досягаються максимуми функцій  $K_{\text{тв}}(\tau)$  та  $R_z(\tau)$  (мінімум  $c(\tau)$ ).

Перевагою моделі є відсутність обмежень на вид функцій розподілу  $F_i(x)$ . Головним недоліком моделі є припущення про повне оновлення системи під час проведення профілактики, що є нереальним для складних технічних об'єктів РЕТ. Крім того, при вирішенні даного завдання виникають обчислювальні труднощі, пов'язані з необхідністю багаторазового рішення інтегрального рівняння (10) для довільних функцій розподілу  $F_i(x)$ .

**Модель Ушакова [7].** Вирішується задача визначення оптимального періоду профілактичної заміни елемента (пристрою). Пристрій експлуатується протягом тривалого часу  $t$ . У разі відмови пристрою проводиться його заміна (тобто АР), при цьому система (в якій використовується пристрій) несе економічні втрати  $c_1$ . Якщо пристрій працює безвідмовно протягом часу  $\theta$ , проводиться його попереджувальна (профілактична) заміна і втрати системи в цьому випадку становлять  $c_2$  одиниць вартості. Тоді протягом інтервалу часу  $[0, t]$  середні сумарні витрати дорівнюють

$$C(t, \theta) = c_1 M\{N_1(t, \theta)\} + c_2 M\{N_2(t, \theta)\}, \quad (12)$$

де  $N_1(t, \theta)$  – число аварійних відмов пристрою за час  $t$ ;

$N_2(t, \theta)$  – число профілактичних заміни пристрою за час  $t$ , зроблених після безвідмовної роботи протягом часу  $\theta$ ;

$M\{\cdot\}$  – символ операції визначення математичного очікування.

Якщо розглядати досить великий проміжок часу, то можна перейти до розгляду задачі щодо мінімізації середніх втрат в одиницю часу на нескінченному інтервалі, тобто

$$c_{\text{птг}}(\theta) = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{C(t, \theta)}{t}. \quad (13)$$



Замість розгляду питомих витрат на нескінченному інтервалі часу можна розглядати середні питомі витрати на одному циклі роботи пристрою від заміни до заміни. Середні сумарні витрати на такому циклі дорівнюють:

$$C(\theta) = c_1 F(\theta) + c_2 P(\theta), \quad (14)$$

де  $P(\theta)$  – ймовірність того, що буде проведена попереджувальна заміна пристрою;

$F(\theta)$  – ймовірність того, що буде проведена аварійна заміна пристрою.

Середня довжина циклу заміни дорівнює

$$T_{\text{ц}}(\theta) = \int_0^{\theta} P(t) dt. \quad (15)$$

Тоді питомі витрати на одному циклі рівні

$$c_{\text{мрт}}(\theta) = \frac{C(\theta)}{T_{\text{ц}}(\theta)}. \quad (16)$$

Оптимальне значення періоду попереджувальних заміни можна знайти в результаті рішення рівняння:

$$\frac{dc_{\text{мрт}}(\theta)}{d\theta} = \frac{d}{d\theta} \left( \frac{c_1 F(\theta) + c_2 P(\theta)}{\int_0^{\theta} P(t) dt} \right) = 0. \quad (17)$$

В [7] показано, що інтенсивність відмов, яке відповідає оптимальній періодичності заміни пристрою дорівнює:

$$\lambda(\theta^*) = \frac{c_1 F(\theta^*) + c_2 P(\theta^*)}{(c_1 + c_2) \int_0^{\theta^*} P(t) dt}. \quad (18)$$

Крім розглянутих математичних моделей ТО, які можна вже вважати «класичними», існує досить велика кількість робіт, присвячених різним підходам до побудови моделей ТО, тобто різним аспектам даної проблематики.

В роботі [8] зроблена одна з перших спроб побудови моделей ТО «за станом» на основі застосування математичного апарату напівмарковських випадкових процесів. В [9–10] була побудована математична теорія обслуговування складних технічних систем, яка в тій чи іншій мірі використовувалася в розглянутих вище класичних моделях. Робота [11] присвячена суворим математичним моделям надійності і ТО відновлюваних систем, що мають складну структуру надійності. Однак, при розгляді процесів ТО система представляється без урахування її внутрішньої структури, що істотно обмежує можливість практичного застосування запропонованих моделей ТО.

Крім того, різноманітні часткові питання побудови моделей ТО розглядаються також в роботах

[12–16]. В роботі [17] розглядаються питання побудови меделей технічного обслуговування для систем з надлишковістю.

## Висновки

Узагальнюючі вищенаведене, можна зробити висновки, що більшість відомих в даний час моделей ТО, на жаль, не дозволяють застосовувати їх до вирішення практичних завдань для реальних складних технічних об'єктів.

Технічне обслуговування є необхідною складовою процесу експлуатації складного технічного об'єкта, призначеного для тривалої експлуатації. Обсяг, зміст і терміни проведення ТО повинні повністю визначатися властивостями надійності об'єкта, умовами і режимами його застосування. Ефективне виконання будь-якої операції ТО можливо тільки в тому випадку, якщо в конструкції об'єкта передбачені спеціально призначені для цього кошти (для вимірювання визначальних параметрів) і забезпечені доступність і зручність виконання операції.

На жаль, відомі в даний час математичні моделі і методики розрахунку оптимальних параметрів процесів ТО мало придатні для застосування до реальних технічних об'єктів. Основний недолік цих моделей полягає в тому, що в них або взагалі не враховується складна структура об'єкта, або є можливість враховувати тільки деякі найпростіші структури.

Наведені твердження цілком обґрунтовують висновок про необхідність визначення основних характеристик системи ТО на ранніх стадіях його проектування, коли ще є можливість внесення змін в конструкцію об'єкта.

Визначення та оптимізація параметрів системи ТО можливі тільки на основі застосування математичних моделей процесів ТО. Такі моделі повинні застосовуватися в процесі проектування на всіх етапах по мірі уточнення складу, структури і конструкції об'єкта. Відомі аналітичні моделі ТО, на жаль, мало придатні для застосування до реальних складних технічних об'єктів. Одним з виходів є розробка моделі ТО на основі методу імітаційного статистичного моделювання.

## Список літератури

1. Барзилович Е.Ю. Модели технического обслуживания сложных систем / Е.Ю. Барзилович. – М.: Высш. школа, 1982. – 231 с.
2. Барзилович Е.Ю. Некоторые математические вопросы теории обслуживания сложных систем / Е.Ю. Барзилович, В.А. Каишанов. – М.: Сов. радио, 1971. – 272 с.
3. Барзилович Е.Ю. Организация обслуживания при ограниченной информации о надежности системы / Е.Ю. Барзилович, В.А. Каишанов. – М.: Сов. радио, 1975. – 136 с.

4. Кокс Д. Теория восстановления / Д. Кокс, В. Смит; под ред. Ю.К. Беляева. – М.: Советское радио, 1967.

5. Каштанов В.А. Оптимальные задачи технического обслуживания / В.А. Каштанов. – М.: Знание, 1981.

6. Вопросы математической теории надежности / Е.Ю. Барзлович, Ю.К. Беляев, В.А. Каштанов и др.; под ред. Б.В. Гнеденко. – М.: Радио и связь, 1983. – 376 с.

7. Ушаков И.А. Вероятностные модели надежности информационно-вычислительных систем / И.А. Ушаков. – М.: Радио и связь, 1991. – 132 с.

8. Герцбах И.Б. Модели профилактики (теоретические основы планирования профилактических работ) / И.Б. Герцбах. – М.: Сов. радио, 1969. – 216 с.

9. Барлоу Р. Математическая теория надежности: пер. с англ. / Р. Барлоу, Ф. Прошан; под ред. Б.В. Гнеденко. – М.: Советское радио, 1969. – 488 с.

10. Barlow R.E. Mathematical models for system reliability / R.E. Barlow, L.G. Yfntel. Part I. – Sylvan: Technol, 1980. – 217 p.

11. Байхельт Ф. Надежность и техническое обслуживание. Математический подход / Ф. Байхельт, П. Франкин. – М.: Радио и связь, 1988. – 198 с.

12. С.В. Степанов Профилактические работы и сроки их проведения / С.В. Степанов. – М.: Сов. радио, 1972.

13. Методика оптимизации периодичности проведения замен технических устройств. – М.: Изд. стандартов, 1975. – 32 с.

14. Абраменко Б.С. Критерии оптимизации стратегий технического обслуживания / Б.С. Абраменко,

Н.А. Трихонюк // Основные вопросы теории и практики надежности. – Мн.: Наука и техника, 1982. – С. 188-193.

15. Лямин П.М. Решение задачи оптимизации параметров системы технического обслуживания сложных систем / П.М. Лямин // Основные вопросы теории и практики надежности. – Мн.: Наука и техника, 1982. – С. 194-198.

16. Волох О.П. Методика обґрунтування раціональних значень періодичності технічного обслуговування машин інженерного озброєння під час експлуатації / О.П. Волох // Збірник наукових праць ВІКНУ ім. Т. Шевченка. – К.: ВІКНУ, 2005. – Вип. 2. – С. 29-32.

17. Модели технического обслуживания систем с избыточностью / Б.П. Креденцер, С.В. Ленков, М.И. Резников, В.В. Зубарев. – К.: Феникс, 2002. – 192 с.

Надійшла до редколегії 11.04.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук проф. Г.В. Певцов, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

## АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Г.Б. Жиров, Е.С. Ленков, И.В. Толок

*В статье проводится анализ наиболее распространенных математических моделей технического обслуживания. Определение преимуществ и недостатков известных моделей необходимо для создания новых моделей технического обслуживания, будут взяты за основу при создании общей информационной технологии технического обслуживания и ремонта.*

*Установлено, что известные в настоящее время математические модели и методики расчета оптимальных параметров процессов технического обслуживания мало пригодны для применения в реальных технических объектах. Основной недостаток этих моделей заключается в том, что в них не учитывается сложная структура объекта, или есть возможность учитывать только некоторые простейшие структуры.*

**Ключевые слова:** техническое обслуживание, математическая модель, техническое состояние.

## ANALYSIS OF MATHEMATICAL MODELS OF COMPLEX TECHNICAL MAINTENANCE FACILITIES

G. Zhyrov, E. Lenkov, I. Tolok

*The article analyzes the most common mathematical models maintenance. Determining the advantages and disadvantages of the known models necessary to create new models of maintenance that will be taken as the basis for creating a common information technology technical service and repair.*

*Found that known at present mathematical models and methods of calculating the optimum process parameters maintenance unsuitable for application to real engineering objects. The main drawback of these models is that they do not take into account the complex structure of the object, or have the opportunity to consider only some simple structures.*

**Keywords:** maintenance, mathematical model, the technical condition.