

ІТЕ ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

Щоквартальний науково-практичний журнал

2'2020

Видання засновано Харківським державним політехнічним університетом у 1998 році (з листопада 2000 р. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»)

Держвидання
Свідоцтво Міністерства інформації України
КВ № 3427 від 18.08.1998 р.
Свідоцтво перереєстровано у Міністерстві юстиції України
КВ № 24313-ПР від 06.02.2020 р.

Журнал включений
до переліку наукових фахових видань України
(Додаток 8 до наказу Міністерства освіти та науки України №1328 від 21.12.2015)

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Головний редактор

Л. Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ, член-кор. НАН України

Технічний редактор

К. О. ГОРБУНОВ, канд. техн. наук, доц., професор НТУ "ХПИ"

ЧЛЕНИ РЕДКОЛЕГІЇ:

О. П. Арсенєва, д-р техн. наук, професор, професор НТУ "ХПИ".
В. Є. Ведь, д-р техн. наук, професор, зав.каф. ППА НТУ "ХПИ"
В. П. Шаповров, д-р техн. наук, професор, зав.каф. ХТІЕ НТУ "ХПИ"
П. О. Некрасов, д-р техн. наук, професор, зав.каф. ТЖПБ НТУ "ХПИ"
П. О. Качанов, д-р техн. наук, професор, зав.каф. АУТС НТУ "ХПИ"
Г. Л. Хавін, д-р техн. наук, професор, професор НТУ "ХПИ"
А. М. Ганжа, д-р техн. наук, професор, зав.каф. ТЕТ НТУ "ХПИ"
Ю. Б. Данилов, д-р техн. наук, професор, професор НТУ "ХПИ".
О. Б. Аніпко, д-р техн. наук, професор каф. інженерно-авіаційного забезпечення, Харківський національний університет Повітряних сил ім. І.Кожедуба
В. А. Мальяренко, д-р техн. наук, професор, професор каф. СЕЕМ ХНУМГ
П. О. Капустенко, канд. техн. наук, професор, акад. Академії будівництва України
Ференс Фридлер, PhD, professor, Pázmány Péter Katolikus egyetem, Budapest, Magyarország
Шарифа Рафіда Ван Алві, PhD, professor, Малайзійський університет технології
Девид Дж. Кукілька, PhD, професор, Державний університет Нью-Йоркського коледжу у Буффало, США
Й. Клемеш, PhD, DSc (Hon), ун-та «Паннонія» (м. Веспрем, Угорщина), та ун-та Манчестера (Великобританія)
Євген Кеніг, д-р техн. наук, професор, університет Падерборна, Німеччина
Мартін Пікон-Нуньєс, PhD, professor, Університет Гуанахуато, Мексика
Петар Варбанов, старший науковий співробітник NETME Center - SPIL, Технологічний університет Брно, Чеська республіка
Майкл Уолмслі, BE, PhD ChemEng, Університет Вайкато, Окленд, Нова Зеландія
П. Стехлік, PhD, проф., Директор Технологічного університету Брно (Чеська республіка)
Панос Сеферліс, PhD., проф., університет Арістотеля, Салоніки, Греція

Журнал включений до зовнішніх інформаційних систем, у тому числі в бібліографічну базу даних OCLC WorldCat (США), індексується пошуковими системами Google Scholar і Crossref, зареєстрований у світовому каталозі періодичних видань бази даних Ulrich's Periodicals Directory (New Jersey, USA).

Офіційний сайт видання: <http://ite.khpi.edu.ua>

EDITORIAL BOARD

The editor-in-chief

L. L. Tovazhnyansky, Corresponding Member of the NAS of Ukraine, Doctor of Technical Sciences, Professor, NTU "KhPI"

Technical editor

K. O. Gorbunov, PhD, Assistant Professor, professor NTU "KhPI"

THE MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD:

O. P. Arsenyeva, Doctor of Technical Sciences, Prof., NTU "KhPI"
V. E. Ved, Doctor of Technical Sciences, Prof., NTU "KhPI"
V. P. Shapovrov, Doctor of Technical Sciences, Prof., NTU "KhPI"
P. O. Nekrasov, Doctor of Technical Sciences, Prof., NTU "KhPI"
P. O. Kachanov, Doctor of Technical Sciences, Prof., NTU "KhPI"
G. L. Khavin, Doctor of Technical Sciences, Prof., NTU "KhPI"
A. M. Hanzha, Doctor of Technical Sciences, Prof., NTU "KhPI"
Yu. B. Danilov, Doctor of Technical Sciences, Prof., NTU "KhPI"
O. B. Anipko, Doctor of Technical Sciences, Prof., Kozhedub Kharkiv Air Force University
V. A. Malyarenko, Doctor of Technical Sciences, Prof., Kharkov National University of Municipal Economy named after O.M. Beketova
P. O. Kapustenko, PhD, professor NTU "KhPI"
Ferenc Friedler, PhD, professor, Pázmány Péter Catholic University, Budapest, Hungary
Sharifah Rafidah Wan Alwi, PhD, professor, Universiti Teknologi Malaysia
David J. Kukulka, PhD., professor, State University of New York College at Buffalo, USA
Jiří Jaromír Klemes, PhD., professor, DSc (Hon) of the University of Pannonia (Veszprem, Hungary) and the University of Manchester (Great Britain)
Eugen Kenig, prof., dr.-ing., University of Paderborn, Germany
Martín Picón Núñez, PhD, professor, university of Guanajuato, Mexico
Petar Sabevarbanov, Senior Researcher, NETME Centre - SPIL, BRNO University of Technology, Czech Republic
Michael Walmsley, BE, PhD ChemEng, University of Waikato, New Zealand
Petr Stehlik, PhD., professor, Director of Institute BRNO University of Technology, Czech Republic
Panos Seferlis, PhD., professor, Aristotle University of Thessaloniki, Thessaloniki, Greece

АДРЕСА РЕДКОЛЕГІЇ:

61002, м. Харків, вул. Кирпичова, 2

Тел. 70-76-958

ЗМІСТ

ЕНЕРГЕТИКА ТЕПЛОТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

<i>Кошельнік О. В., Долобовська О. В., Пугачова Т. М., Круглякова О. В., Павлова В. Г.</i> Розробка схем використання низькопотенційної пари систем випарного охолодження скловарних печей для отримання електричної енергії.....	3
--	---

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПРОМИСЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ

<i>Аніпко О. Б., Калкаманов С. А., Приймак А. В.</i> Формули пріоритетів і хінсайд-аналіз при варіантних проробках на етапі концептуального проектування транспортного літака.....	11
<i>Вовк О. І., Щепцов О. В., Курдюк С. В.</i> Моделювання функціонування НРЛС при виявленні малопомітних цілей в умовах завод.....	20

ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

<i>Горєлишев С. А., Баулін Д. С., Козлов В. Є., Сидоренко І. І., Манжура С. А.</i> Використання методу вибору бронееlementу на основі інтегрального показника властивостей та критерію мінімуму вартості.....	27
<i>Бірюков І. Ю., Бірюков О. І.</i> Формалізація залежності впливу зміни початкової швидкості куль короткоствольної зброї на їх вражаючі властивості.....	37
<i>Гумницький Я. М., Симак Д. М., Сабадаш В. В., Атаманюк В. М.</i> Зовнішньо дифузійна кінетика масообміну. Особливості кінетики адсорбції.....	49
<i>Перевалов Л. І., Фадєєв Л. В., Півень О. М., Тимченко В. К., Дьяченко М. В.</i> Теоретичні та експериментальні дослідження процесу обрушування насіння соняшнику кондитерського сорту.....	57

СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТА ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ

<i>Савінок О. М.</i> Екологічні ризики світового океану для морських ссавців.....	69
<i>Білий М. Ф., Аніпко О. Б.</i> Дистрибутивний підхід до аналізу готовності авіаційного парку з формалізацією прихованих відмов.....	79
<i>Вічистий А. А.</i> Аналіз структури системи інформаційної підтримки експлуатації повітряного судна.....	84
<i>Плешкунов С. А.</i> Перспективи застосування іонно-плазмових методів для підвищення втомної міцності трибосистем.....	92
<i>Шепеленко А. М.</i> Класифікація і аналіз структури інформаційної системи підтримки експлуатації повітряного судна.....	98

Затверджено Вченою радою НТУ «ХПІ» (протокол № 2 від 28.02.2020 р.)

Інтегровані технології та енергозбереження / Щоквартальний науково-практичний журнал. – Харків : НТУ «ХПІ», 2020. – № 2. – 104 с.

Збірник наукових та науково-практичних статей з питань енергозбереження та сучасних технологій різноманітних галузей промисловості.

© Національний технічний університет «ХПІ», 2020

Кошельник О.В.^{1,2}, к.техн.н., доцент, Долобовська О.В.², асистент, Пугачова Т.М.², к.техн.н., професор, Круглякова О.В.², к.техн.н., доцент, Павлова В.Г.², к.техн.н., ст.викладач

РОЗРОБКА СХЕМ ВИКОРИСТАННЯ НИЗЬКОПОТЕНЦІЙНОЇ ПАРИ СИСТЕМ ВИПАРНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ СКЛОВАРНИХ ПЕЧЕЙ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

¹Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна

²Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,

Ключові слова: скловарні печі, системи випарного охолодження, утилізація низькопотенційної пари, отримання електричної енергії, енергоефективність.

Вступ. Для скловарних печей різних конструкцій було розроблено та впроваджено різні варіанти систем випарного охолодження (СВО) стін печей [1–3]. В процесі їх експлуатації доведена висока надійність природної циркуляції теплоносія, що забезпечує інтенсивне охолодження стін басейну печей скляного виробництва при змінних теплових режимах їх роботи, в наслідок чого подовжується термін служби вогнетривів [4, 5]. Крім того, при цьому зменшуються питома витрата органічного палива та додатково забезпечується економія електроенергії, що витрачалася на привід вентиляторів систем повітряного охолодження.

Неповне використання енергетичного потенціалу вторинної пари систем випарного охолодження пояснюється деякими особливостями їх експлуатації та роботи агрегатів скловарного виробництва. До них відносяться: низький тиск отриманої пари; сезонність основних споживачів низькопотенційної пари – систем опалення та вентиляції; віддаленість джерел відпрацьованої пари від місць його потенційного використання; в деяких випадках складність установок та агрегатів для використання енергії водяної пари низьких параметрів. Із-за вищевказаних труднощів на ряді промислових підприємств питання використання вторинної пари залишається невирішеним. Враховуючи це, питання найбільш ефективного та раціонального використання низькопотенційної пари СВО залишається достатньо актуальним, вирішення якого дозволить зменшити загальне енергоспоживання виробництва скломаси.

Виділення невирішеної частини загальної проблеми. До теперішнього часу найбільш поширеним способом використання пари систем випарного охолодження є його застосування в якості теплоносія в системах опалення та гарячого водопостачання. В даному випадку виробництво водяної пари або гарячої води в заводських котельнях заміщується отриманням пари СВО, завдяки чому знижується витрата первинного палива в парогенераторах та водогрійних котлах. Але в цьому випадку виникають проблеми, що не дозволяють вирішити питання повного використання енергетичного потенціалу водяної пари систем випарного охолодження протягом всього року. В першу чергу, це низький тиск насиченої пари, що складає 0,2–0,8 МПа (в деяких випадках нижче) та його досить висока вологість [5, 6]. Окрім того, кількість виробленої пари для окремих скловарних печей в разі їх обладнання СВО є значно меншою, ніж для доменних печей, та змінюється в залежності від завантаження печі та стану вогнетривких матеріалів, що призводить до виникнення значних труднощів для повного і раціонального використання енергетичного потенціалу вторинної пари.

Викладення основної частини дослідження. Традиційно виділяють два основних напрямки використання енергії вторинної пари. Це в першу чергу теплотехнічний напрямок, а також енергетичне використання [7].

Для живлення системи охолодження скловарних печей необхідна очищена та деаерована вода, тому скидання вторинної пари СВО в атмосферу є недоцільним та призводить до додаткових витрат енергії. Як вже вказувалося, однією з основних причин, по якій пара СВО не використовується повністю або частково, є його низький тиск. Тому доцільно розглянути питання про раціональні способи конденсації пари даних параметрів.

Проаналізуємо можливі схеми конденсації пари СВО. У першій схемі пара із системи охолодження скловарних печей проходить через пристрій для зниження тиску і його зволоження (при тиску пари нижче 0,2 МПа редуційно-охолоджувальний пристрій не встановлюється), або безпосередньо в поверхневий конденсатор. Пара в останньому проходить між трубками, по яких рухається охолоджуюча вода, що подається насосом. Схема обладнується також конденсаційним насосом, насосом для подачі живильної води в СВО, зворотним клапаном, збірником конденсату та градирнею з природною циркуляцією.

В окремих випадках для охолодження конденсату в поверхневому конденсаторі може бути використана вода після охолодження з тих скловарних печей, де застосовується звичайне водяне охолодження. Ця схема є найбільш ефективною, тому що зникає необхідність в додатковому насосі для подачі охолоджуючої води, а через великий перепад температур між теплоносіями в градирні потрібна менша поверхня додаткової секції зрошення.

В іншому випадку пара, що утворюється в СВО, конденсується в змішуючому конденсаторі. В теплообмінник надходить конденсат, попередньо охолоджений у водоводяному холодильнику. Тут можливий наступний режим роботи: у холодильник конденсат подається при температурі 98 °С і, проходячи між трубами, охолоджується до 40 °С. По трубах холодильника рухається охолоджуюча вода, що надходить із градирні із природною тягою з температурою 35 °С і вихідна з холодильника при температурі 50 °С. Особливістю даної схеми є використання водо-водяного холодильника та градирні із природною тягою для охолодження циркуляційної води. Така схема дозволяє застосовувати циркуляційну воду з температурою 35–50 °С без попередньої обробки

Також можливо розглядати схеми з застосуванням повітряних водоохолоджувачів замість водо-водяних теплообмінників і градирні із природною тягою [8]. У цій схемі з конденсатора змішання частина конденсату подається насосом у систему труб повітряного водоохолоджувача, а частина його без охолодження надходить у збірник конденсату та далі подається в систему випарного охолодження скловарної печі.

Для інтенсифікації процесу охолодження повітряний водоохолоджувач може бути виконано зі штучною тягою, де досягається підвищення швидкості повітря між трубами охолоджувача до 3 м/с. При цьому зменшується поверхня теплообмінника, а також знижуються капітальні витрати. Негативною стороною даної схеми є додаткова витрата електроенергії на привід вентилятора.

Іншим способом підвищення ефективності охолодження є застосування охолодження повітрям, що містить як другу фазу зважену вологу у вигляді невеликих крапель води. Це в кілька разів збільшує кількість тепла, що сприймається повітрям та дозволяє значно скоротити витрати повітря та електроенергії на його циркуляцію.

Ще одним варіантом є застосування система повітряного випарного охолодження [9]. Ця схема відрізняється тим, що навколо повітряного водоохолоджувача споруджується кільцевий водопровід з колонками, на яких встановлюються сопла для розпилювання технічної води. Також може бути використано систему випарного охолодження з повітряним конденсатором. Повітряний конденсатор компонується із секцій, що складаються з вертикальних оребрених труб, усередині яких проходить пара, а зовні – повітря.

Аналіз наведених варіантів конденсації пари систем випарного охолодження скловарних печей в конденсаторах з водяним і повітряним охолодженням різної конструкції показав деяку перевагу водяного охолодження за рахунок меншої витрати електричної енергії. Однак в той же час застосування повітряних конденсаторів повністю усуває необхідність в охолоджуючій воді та пов'язаних із цим додаткових капітальних і експлуатаційних витрат.

Вищенаведені схеми не дозволяють використовувати тепловий потенціал отриманої водяної пари. Тому доцільно розглянути варіант її використання для виробництва електроенергії безпосередньо в турбогенераторах або у двоконтурних схемах з нетрадиційними робочими тілами [10, 11]. При наявності теплових споживачів, що не забезпечують повного використання пари випарного охолодження на протязі всього року або при повній відсутності таких, отримання електроенергії може стати економічно обґрунтованим.

Тут можливо розглядати наступні варіанти:

1. Використання пари в турбінах конденсаційного типу та протитиском;
2. Підігрів живильної води в регенеративних підігрівниках з метою підвищення потужності турбін (рис. 1,а);
3. Використання пари в турбінах з подвійним живленням (рис. 1,б).

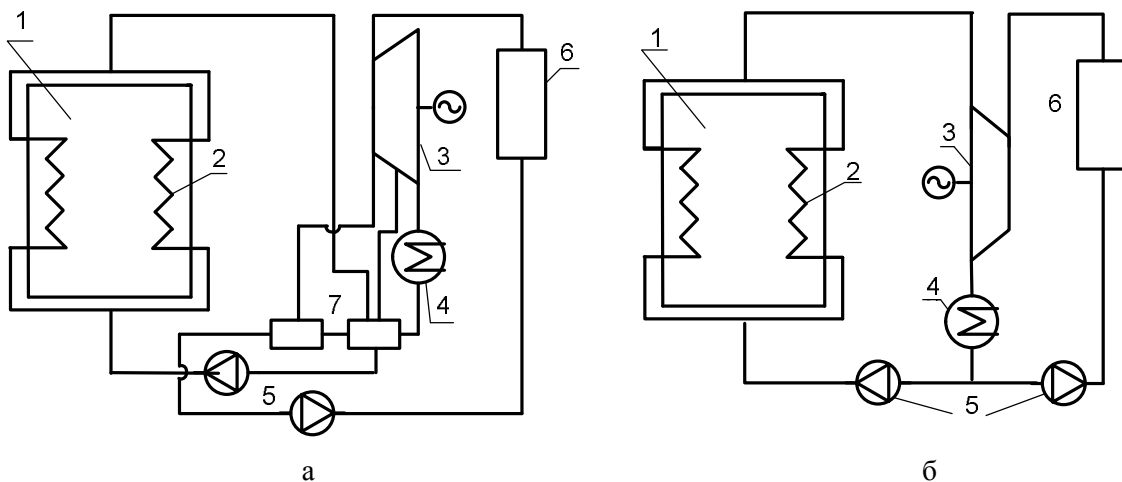


Рисунок 1 – Схеми використання пари СВО з турбоустановками:

- 1 – скловарна піч; 2 – СВО; 3 – парова турбіна с електрогенератором; 4 – конденсатор;
5 – насоси; 6 – парогенератор; 7 – регенеративні підігрівачі

Перший варіант передбачає застосування утилізаційних турбін малої потужності в стандартних схемах. Водяна пара систем випарного охолодження надходить у парову турбіну низького тиску. Турбіна служить приводом електрогенератора, від якого через розподільний пристрій струм подається в заводську мережу. В табл. 1 наведено харак-

теристики турбін с протитиском, що можуть бути застосовані для утилізації низькопотенційної пари систем випарного охолодження. Враховуючи те, що СВО скловарних печей мають невелику продуктивність (до 10 т/год), для отримання достатньої кількості електроенергії доцільно підвищувати початкові параметри пари на вході в турбіну. Тут можливо розглядати два варіанти. Перший – підвищення тиску пари. Як видно з табл. 1, підвищення тиску майже прямо пропорційно потужності турбоустановки. Але застосування пароструминного компресора для даної схеми показало свою неефективність, також як і механічного компресора [11]. Тому альтернативою є підвищення параметрів пари за рахунок її перегріву. Це дозволить значно підвищити вироблення електроенергії при наявності незначних об'ємів пари. Схеми з перегрівом пари за допомогою проміжного низькокипячого теплоносія та використанням теплоти відхідних газів скловарної печі наведені в роботі [7].

Таблиця 1 – Характеристики утилізаційних турбін с протитиском малої потужності

Потужність турбіни, кВт	Номінальний тиск пари, МПа	Температура пари на вході, °С	Номінальний тиск пари на виході, МПа	Витрата пари, т/год
100	0,7	165	0,2	5
200	1,4	195	0,2	5
300	1,2	188	0,3	10
400	1,4	195	0,2	10
500	2,4	350 (перегріта пара)	0,1	4
950	2,35	390 (перегріта пара)	0,3	11

Іншим варіантом використання енергії пари СВО є застосування її в регенеративних відборах турбін з метою збільшення вироблення електроенергії. Подібна схема пропонувалася для турбін металургійних підприємств [12]. Суть її полягає в тому, що теплота отриманої пари використовується для нагріву живильної води з одночасним відключенням відбору низького тиску турбіни. Але, враховуючи невелику кількість пари СВО скловарних печей, цей варіант не може бути тут застосований.

Також може розглядатися застосування парових турбін з подвійним живленням (див. рис. 1,б). В даній схемі додаткова кількість пари в турбіну поступає від парогенератора. Але ця схема має ряд істотних недоліків. Для отримання пари необхідно мати додаткові потужності парогенераторів, що в більшості випадків на підприємствах відсутні. Крім того, в якості джерела енергії на скловарних підприємствах використовують природний газ, внаслідок цього вартість отриманої електроенергії значно збільшується. Тому даний варіант також не вирішує проблеми використання енергії низькопотенційної пари.

Висновки. Розглянуто різні схеми конденсації пари СВО з використанням поверхневих та змішуючих конденсаційних пристроїв при водяному та повітряному охолодженні. Але ці схеми не дозволяють використовувати тепловий потенціал пари. Тому для його застосування розглянуто електроенергетичний напрямок, де енергія вторинної пари перетворюється в електричну енергію, що застосовується для забезпечення живлення споживачів на самому підприємстві.

Досліджено ефективність трьох варіантів отримання електричної енергії. Показано, що найбільш ефективним є використання схем з утилізаційними турбінами за

умов додаткового перегріву пари для підвищення її параметрів за рахунок теплоти відхідних газів скловарних печей.

Література

1. Андоньев С.М. Испарительное охлаждение металлургических печей. Основные положения: учеб. пособие для металлургических вузов и факультетов / С.М. Андоньев. – М. : Metallurgizdat, 1961. – 447 с.
2. Зайцев Ю.С. Испарительное охлаждение стекловаренных печей / Ю.С. Зайцев, О.В. Филиппев, Н.Н. Зайцева. – Харьков: Основа, 1993. – 105 с.
3. Матвеев В.А. Выработка пара с энергетическими параметрами при утилизации теплоты отходящих газов стекловаренных печей / В.А. Матвеев, И.С. Ильяшенко, К.Ю. Давыдова // Стекло и керамика. – 1988. – № 4. – С. 7–9.
4. Павловский В.К. Влияние температуры на коррозию огнеупоров в расплавах стекол / В.К. Павловский, Ю.С. Соболев // Стекло и керамика. – 1991. – № 12. – С. 12–14.
5. Кошельник В.М. О возможности применения опыта испарительного охлаждения металлургических агрегатов для стекловаренных печей / В.М. Кошельник, О.В. Филиппев, А.В. Кошельник // Вестник Харьковского государственного политехнического университета: сб. науч. тр. – 1998. – Вып. 16. – С. 165–168.
6. Интегрированные энергосберегающие теплотехнологии в стекольном производстве: монография / Л.Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, В.М. Кошельник, В.В. Соловей, А.В. Кошельник. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2008. – 628 с.
7. Кошельник О.В. Перспективні напрями використання низькопотенційної пари систем випарного охолодження скловарних печей / О.В. Кошельник, О.В. Долобовська, В.Г. Павлова // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2017. – № 1. – С. 53–59.
8. Пономаренко В.С. Градирни промышленных и энергетических предприятий / В.С. Пономаренко, Ю.Ф. Арефьев. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 376 с.
9. Левин М.С. Использование отработавшего и вторичного пара и конденсата / М.С. Левин. – М.: Энергия, 1971. – 144 с.
10. Use of a hydrogen metal hydride system to increase glass production efficiency / N.A.Chorna, O.V. Koshelnik, O.V. Kruglyakova, O.V. Dolobovska // Journal of Mechanical Engineering. – 2019. – V. 22, № 3. – P. 50–56.
11. Кошельник О.В. Розробка енергоперетворювальних комплексів з нетрадиційним теплоносієм для утилізації теплоти систем випарного охолодження скловарних печей / О.В. Кошельник, О.В. Долобовська, В.Г. Павлова // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2018. – № 1. – С. 3–8.
12. Розенгарт Ю.И. Теплоэнергетика металлургических заводов / Ю.И. Розенгарт, З.А. Мурадова, Б.З. Тевревский. – М.: Metallurgiya, 1985. – 303 с.

Bibliography (transliterated)

1. Andonev S.M. Isparitelnoe ohlazhdenie metallurgicheskikh pechey. Osnovnyie polozheniya: ucheb. posobie dlya metallurgicheskikh vuzov i fakultetov / S.M. Andonev. – M. : Metallurgizdat, 1961. – 447 p.
2. Zaytsev Yu.S. Isparitelnoe ohlazhdenie steklovarenyih pechey / Yu.S. Zaytsev, O.V. Filipev, N.N. Zaytseva. – Harkov: Osнова, 1993. – 105 p.

3. Matveev V.A. Vyirabotka para s energeticheskimi parametrami pri utilizatsii teploty othodyaschih gazov steklovarenyih pechey / V.A. Matveev, I.S. Ilyashenko, K.Yu. Davydova // *Steklo i keramika*. – 1988. – № 4. – P. 7–9.
4. Pavlovskiy V.K. Vliyanie temperatury na korroziyu ogneuporov v rasplavah stekol / V.K. Pavlovskiy, Yu.S. Sobolev // *Steklo i keramika*. – 1991. – № 12. – P. 12–14.
5. Koshelnik V.M. O vozmozhnosti primeneniya opyita isparitel'nogo ohlazhdeniya metallurgicheskikh agregatov dlya steklovarenyih pechey / V.M. Koshelnik, O.V. Filipev, A.V. Koshelnik // *Vestnik Harkovskogo gosudarstvennogo politehnicheskogo universiteta: sb. nauch. tr.* – 1998. – Vyip. 16. – P. 165–168.
6. Integrirovannyye energosberegayushchie teplotehnologii v stekolnom proizvodstve: monografiya / L.L. Tovazhnyanskyuy , V.M. Koshelnik, V.V. Solovey, A.V. Koshelnik. – Harkov: NTU «HPI», 2008. – 628 p.
7. Koshelnik O.V. Perspektivni napryami vikoristannya nizkopotentsiynoyi pari sistem viparnogo oholodzhennya sklovarnih pechey / O.V. Koshelnik, O.V. Dolobovska, V.G. Pavlova // *Integrovani tehnologiyi ta energozberezhennya*. – 2017. – № 1. – P. 53–59.
8. Ponomarenko V.S. Gradirni promyishlennyih i energeticheskikh predpriyatiy / V.S. Ponomarenko, Yu.F. Arefev. – M.: Energoatomizdat, 1998. – 376 p.
9. Levin M.S. Ispolzovanie otrabotavshogo i vtorichnogo para i kondensata / M.S. Levin. – M.: Energiya, 1971. – 144 p.
10. Use of a hydrogen metal hydride system to increase glass production efficiency / N.A.Chorna, O.V. Koshelnik, O.V. Kruglyakova, O.V. Dolobovska // *Journal of Mechanical Engineering*. – 2019. – V. 22, № 3. – P. 50–56.
11. Koshelnik O.V. Rozrobka energoperetvoryvalnih kompleksiv z netraditsiynim teplonosiem dlya utilizatsiyi teploti sistem viparnogo oholodzhennya sklovarnih pechey / O.V. Koshelnik, O.V. Dolobovska, V.G. Pavlova // *Integrovani tehnologiyi ta energozberezhennya*. – 2018. – № 1. – P. 3–8.
12. Rozengart Yu.I. Teploenergetika metallurgicheskikh zavodov / Yu.I. Rozengart, Z.A. Muradova, B.Z. Teverevskiy. – M.: Metallurgiya, 1985. – 303 p.

УДК 666.1.031.2; 620.97

Кошельнік О.В., к.техн.н., доцент, Долобовська О.В., асистент,
Пугачова Т.М., к.техн.н., професор, Круглякова О.В., к.техн.н., доцент,
Павлова В.Г., к.техн.н., ст.викладач

РОЗРОБКА СХЕМ ВИКОРИСТАННЯ НИЗЬКОПОТЕНЦІЙНОЇ ПАРИ СИСТЕМ ВИПАРНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ СКЛОВАРНИХ ПЕЧЕЙ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Одним з ефективних способів підвищення терміну служби вогнетривів скловарних печей є використання систем випарного охолодження. При цьому виникає проблема використання енергії водяної пари. Кількість пари, що отримується на одній печі, не перевищує 10 т/год. Вона має низький тиск до 0,8 МПа і високу вологість. Для конденсації пари може застосовуватись водяне або повітряне охолодження. Проаналізовано схеми конденсації пари систем випарного охолодження із застосуванням поверхневих і змішуючих конденсаторів. Однак ці схеми не дають можливості використовувати енергетичний потенціал вторинної пари. Виділяють два напрямки її використання – тепло-

вий та енергетичний. У багатьох випадках підприємства не мають цілорічних споживачів теплової енергії. В такому разі відкривається перспектива отримання за рахунок енергії пари електричної енергії, яка може використовуватися безпосередньо на підприємстві. Розглянуто схеми з утилізаційними конденсаційними турбінами й турбінами з протитиском для утилізації низькопотенційної пари систем випарного охолодження скловарних печей. Також представлені схеми з підігрівом парою живильної води в регенеративних підігрівачах турбін і схеми з подвійним живленням турбоустановок. Проведений аналіз показав, що останні два варіанти є неефективними з огляду на необхідність подачі додаткової кількості пари, одержуваної в парогенераторах. В якості джерела енергії на скляних підприємствах використовується природний газ, тому вартість одержуваної електроенергії буде значно збільшуватися. Тому для утилізаційних схем з отриманням електроенергії найефективнішим способом буде додатковий перегрів водяної пари для підвищення її параметрів. Для цього можливо використовувати в пароперегрівачах теплоту відхідних димових газів скловарних печей. Також перспективними є варіант застосування схем з низькокиплячим теплоносієм.

Ключові слова: скловарні печі, системи випарного охолодження, утилізація низькопотенційної пари, отримання електричної енергії, енергоефективність.

Кошельник О.В., к.техн.н., доцент, Долобовская О.В., ассистент, Пугачова Т.Н., к.техн.н., профессор, Круглякова О.В., к.техн.н., доцент, Павлова В.Г., к.техн.н., ст.преподаватель

РАЗРАБОТКА СХЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО ПАРА СИСТЕМ ИСПАРИТЕЛЬНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ СТЕКЛОВАРЕННЫХ ПЕЧЕЙ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Одним из эффективных способов повышения срока службы огнеупоров стекловаренных печей является использование систем испарительного охлаждения. Одной из проблем, возникающих при этом, является использование энергии водяного пара. Количество пара, получаемое на одной печи, не превышает 10 т/ч. Он имеет низкое давление до 0,8 МПа и высокую влажность. Для конденсации пара может применяться водяное или воздушное охлаждение. Проанализированы схемы конденсации пара систем испарительного охлаждения с применением поверхностных и смешивающих конденсаторов. Однако эти схемы не дают возможности использовать энергетический потенциал вторичного пара. Выделяют два направления его использования – тепловое и энергетическое. Во многих случаях предприятия не имеют круглогодичных потребителей тепловой энергии. В таком случае открываются перспектива получения за счет энергии пара электрической энергии, которая используется непосредственно на предприятии. Рассмотрены схемы с утилизационными конденсационными турбинами и турбинами с противодавлением для утилизации низькопотенциального пара систем испарительного охлаждения стекловаренных печей. Также представлены схемы с подогревом паром питательной воды в регенеративных подогревателях турбин и схемы с двойным питанием турбоустановок. Проведенный анализ показал, что последние два варианта являются неэффективными ввиду необходимости подачи дополнительного количества пара, получаемого в парогенераторах. В качестве источника энергии на стекольных предприятиях используется природный газ, поэтому стоимость получаемой электроэнергии бу-

дет значительно увеличиваться. Поэтому для утилизационных схем с получением электроэнергии наиболее эффективным способом будет дополнительный перегрев водяного пара для повышения его параметров. Для этого возможно использовать в пароперегревателях теплоту отходящих дымовых газов стекловаренных печей. Также перспективными являются вариант применения схем с низкокипящим теплоносителем.

Ключевые слова: стекловаренная печь, системы испарительного охлаждения, утилизация низкопотенциального пара, получение электрической энергии, энергоэффективность.

Koshelnik O., Dolobovska O., Pugacheva T., Kruglyakova O., Pavlova V.

**STUDY OF ELECTRIC ENERGY GENERATION GASES USING
LOW-GRADE STEAM OF GLASS MELTING FURNACE EVAPORATION
COOLING SYSTEM**

Evaporative cooling systems for glass melting furnaces are one of the effective ways to increase the service life of its refractory materials. The resulting steam can be recovered, although it has a low pressure of up to 0,8 MPa and high humidity. The amount of steam obtained from one furnace does not exceed 10 t/h. To condense the steam of evaporative cooling systems it can be used condensers with water or air cooling. Condensing circuit using surface and contact condensers is considered. The analysis shows that such circuits do not make it possible to utilize the energy potential of the secondary steam. The possible ways of steam application can be thermal energy production and electric generation. Generally glass enterprises do not have year-round heat consumers. Thus electric generation using the steam of glass melting furnaces evaporative cooling systems is preferred. Electricity generated can be used directly at the glass enterprise. Different ways of using steam from evaporative cooling systems of glass melting furnaces in electric generation systems are considered. Recovery schemes with steam heated feed water in turbine regenerative heaters and schemes with double feed turbines show their inefficiency. In these schemes, the amount of steam from the evaporative cooling system is insufficient, so it is necessary to supply additional steam, which is generated in the steam generator. Since natural gas is used as a source of energy at glass enterprises, the cost of electricity generated will be unacceptably high. Also, schemes with recovery condensing turbines and backpressure turbines are examined for recovery of low-grade steam of glass melting furnaces evaporative cooling systems. A comprehensive analysis of the schemes considered shows that the most effective way is steam additional overheating to increase steam parameters. For overheating the heat of the flue gases from glass melting furnaces can be used. Heat recovery schemes using low-boiling heat transfer fluid are also promising.

Keywords: Key words: glass melting furnaces, evaporative cooling systems, low-grade vapour utilization, electric generation, efficient energy use.

Аніпко О.Б.¹, д.техн.н., професор, Калкаманов С.А.¹, д.техн.н., професор,
Приймак А.В.², к.техн.н., с.н.с.

ФОРМУЛИ ПРІОРИТЕТІВ І ХІНСАЙД-АНАЛІЗ ПРИ ВАРІАНТНИХ ПРОРОБКАХ НА ЕТАПІ КОНЦЕПТУАЛЬНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ТРАНСПОРТНОГО ЛІТАКА

¹Національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків
²Національний аерокосмічний університет імені М.Є. Жуковського (ХАІ), Харків

Ключові слова: досягнутий рівень, формула пріоритетів, єдиний підхід, показник транспортної системи, нове рішення, можливі варіанти, інтеграційні властивості, показник інтеграції, порівняльний аналіз, хінсайд.

Сучасний етап досягнутого рівня технологій і техніки характеризується інтенсивною зміною зразків і навіть поколінь. Тому, для своєчасного постачання на ринок конкурентоспроможних зразків, необхідно вже на етапі концептуальних напрацювань перспективного зразка спрогнозувати основні значення його технічних характеристик і чітко сформулювати пріоритети.

Етапу концептуального проектування різних зразків техніки присвячено безліч публікацій наукового [1–4] і навчального характеру [5]. Практично в усіх наведених тут і інших публікаціях наголошується на важливості аналізу досягнутого рівня реалізованих проектів для прогнозування показників технічних вимог перспективних зразків. Однак єдиного, універсального підходу при вирішенні цього завдання до теперішнього часу не розроблено. Відзначимо, що для його вирішення використовуються найрізноманітніші методи, від простого призначення показника, до статистичного аналізу даних за певний період часу. У такий спосіб завдання вирішується, головним чином, стосовно одного показника, як правило, одиничного базового, в кращому випадку – питомого. При цьому, сучасні зразки техніки і навіть їх окремі компоненти є складними технічними системами (СТС), що зумовлює наявність комплексного взаємозв'язку між окремими їх показниками [6, 7].

Беручи до уваги складність взаємозв'язків між показниками і характеристиками СТС, а також те, що помилки чи прорахунки, допущені на етапі концептуального проектування, важко піддаються корекції і можуть стати причиною зриву реалізації розробки, оскільки іноді виявляються лише в процесі випробувань дослідного зразка, доцільним є здійснювати рішення вихідної задачі із застосуванням інтегральних або комплексних показників, які дозволяють виконувати несуперечливе визначення показників технічних характеристик перспективного зразка із дотриманням призначеного пріоритету.

Стосовно транспортного літака пріоритетами при розробці перспективного зразка можуть бути:

1. Економічність повітряного судна (E).
2. Маса (злітна маса, маса корисного (комерційного) навантаження (M)).
3. Тривалість життєвого циклу ($TЖЦ$).
4. Тягоозброєність ($ТО$) і т.д.

Надалі формулою пріоритетів будемо називати послідовність властивостей в порядку убуття їх важливості, що реалізуються в процесі проектування транспортного літака. Для наданих пріоритетів зазначені формули можуть мати вигляд:

$$\begin{aligned} & \text{Э} - \text{М} - \text{ТЖЦ} - \text{ТО} \\ & \text{М} - \text{ТЖЦ} - \text{ТО} - \text{Э} \\ & \text{ТЖЦ} - \text{ТО} - \text{Э} - \text{М} \\ & \text{ТО} - \text{Э} - \text{М} - \text{ТЖЦ} \\ & \text{Э} - \text{М} - \text{ТО} - \text{ТЖЦ} \end{aligned} \quad (1)$$

і так далі.

Коли такі завдання верхнього і нижнього ієрархічних рівнів вирішуються ОКРЕМО, то такий апарат і інформація можуть бути продуктом рішення задачі оптимізації елементів системи.

Розробка підсистем супроводжується прагненням забезпечити найбільш можливу ефективність об'єкта як системи у відповідності із певним пріоритетом, часто навіть в супереч оптимізації підсистем. Для виконання такого проектування необхідний апарат і інформація, що дозволяють оцінити вплив зміни показників підсистем на загальний технічний рівень і ефективність.

Тому, видається природним вимагати використання на нижньому і верхньому рівнях, при проектуванні, однакових підходів і показників, а також єдиних критеріїв для порівняння варіантів. Однак, з огляду на велику кількість прямих і зворотних зв'язків цього недостатньо. Тому вводяться загальні показники і на проміжних ієрархічних рівнях, які при зміні показників верхнього або нижнього рівнів повинні інформувати, щонайменше, про не погіршення властивостей підсистеми. Крім того, важливо врахувати наступні особливості:

- при проектуванні об'єкта можлива оптимізація підсистем в буквальному сенсі, тобто визначення кращих параметрів у відповідності із цільовою функцією;
- не усі підсистеми створюються разом і для даного об'єкта (запозичені вироби, комплектуючі тощо).

Перша особливість є важливою стосовно постулату системотехніки про те, що система, складена із оптимальних систем, не є оптимальною. Тому методи оптимізації, в принципі, мають обмежене застосування для складних систем.

Друга із згаданих особливостей обмежує втручання проектувальника в зміну показників. У цьому випадку часто буває достатнім, при розгляді альтернативних варіантів, прямо оцінити вплив підсистеми на характеристики машини.

В цілому ж в умовах відсутності єдиного підходу до оцінки варіантів проектів або порівняння об'єктів, в якості критеріїв ефективності або вибору варіанту можуть бути використані часткові показники, що відображають точку зору осіб, які приймають рішення, по конкретній підсистемі або об'єкту в цілому. Ця обставина є додатковим аргументом щодо необхідності розробки єдиного підходу для аналізу варіантів і порівняння зразків, який має стати інструментом забезпечення системних принципів, як проектування, так і оцінки об'єктів. Однак на етапі навіть середньострокового прогнозу пряме застосування цього методу є проблемним з огляду на те, що, з одного боку, не усі одиничні базові показники відомі для прогнозованого зразка, а, з іншого – цей метод не дозволяє оцінити ступінь новизни і застосування передових досягнень, як за окремим показником, так і для об'єкта в цілому.

Таким чином, принципове питання про те, чи є прогнозований зразок наступним кроком у розвитку класу або типу техніки, або лише реалізацією одного із багатьох можливих варіантів конструкторських рішень, залишається відкритим.

Інтуїтивно зрозуміло, що для вирішення цього завдання необхідно спиратися на:

1. Формально описаний досягнутий рівень для даного класу (типу) техніки, що і є суттю змісту хінсайда в Форсайт-прогнозах.

2. Інтегральний (або як мінімум комплексний) показник, що характеризує основні властивості зразка техніки в межах класу або типу, і отриманий із урахуванням ієрархії показників, що формалізують опис СТС.

Принцип побудови ієрархічної структури СТС «літальний апарат» полягає у вирішенні завдання взаємного функціонального зв'язку і розподілу параметрів, показників і характеристик за рівнями, які містять одиничні і похідні від них величини.

Кожна підсистема включає елементи, які характеризуються як одиничними параметрами, так і інтегральними характеристиками.

Перший рівень містить базові величини елементів підсистем, другий – добутки, суми, різниці або відношення різних параметрів з першого рівня. Третій рівень включає добутки, суми, різниці або відношення різних параметрів з першого і другого рівнів. Четвертий рівень містить параметри з попередніх рівнів.

Таким чином, на самому верхньому рівні будуть комплексні показники і критерії СТС [3, 9]. Щодо транспортних же літаків викладений підхід може бути реалізований на основі розробленого показника транспортної системи N_{TC} [8]:

$$N_{TC} = \left(1 - \frac{M_{KH}}{M_{zl}}\right) \frac{L_p}{V_{max}} P_o, \quad (2)$$

де M_{KH} – маса корисного(комерційного) навантаження; M_{zl} – максимальна злітна маса; L_p – довжина розбігу; V_{max} – максимальна швидкість польоту; P_o – злітна тяга силової установки.

Використовуючи відомості щодо здійснених проектів транспортних літаків побудована залежність $N_{TC} = f(M_{zl})$, як може бути описана функцією:

$$N_{TC} = -90,25 + 0,0064M_{zl} + 3 \times 10^{-9} M_{zl}^2. \quad (3)$$

Тут доречно підкреслити, що представлена залежність із урахуванням середньоквадратичного відхилення отриманих значень N_{TC} від середнього (σ), оціненого у процесі інтерполяції є смугою, в межах якої і знаходяться поєднання показників льотно-технічних характеристик (ЛТХ) для досягнутого рівня техніки і технології. Оскільки ці проекти здійснені, то і відповідні поєднання ЛТХ не вимагають доказів можливості існування і достовірності.

Таким чином, смуга $N_{TC}(M_{zl}) \pm k\sigma$ на рис. 1, являє собою хінсайд для цього типу техніки і, отже, використовуючи показник транспортної системи, що розрахований для перспективного (нового) зразка, можна говорити про те, чи є прогнозований зразок якісно новим рішенням або одним із варіантів поєднання показників.

Так, якщо для перспективного зразка показник N_{TC} виходить за межі смуги $N_{TC}(M_{zl}) \pm k\sigma$, де $k = 1, 2, \dots$, то в будь-якому випадку це є нове рішення. До речі, найкращим буде те з них, для якого при тому ж M_{zl} показник N_{TC} буде найменшим.

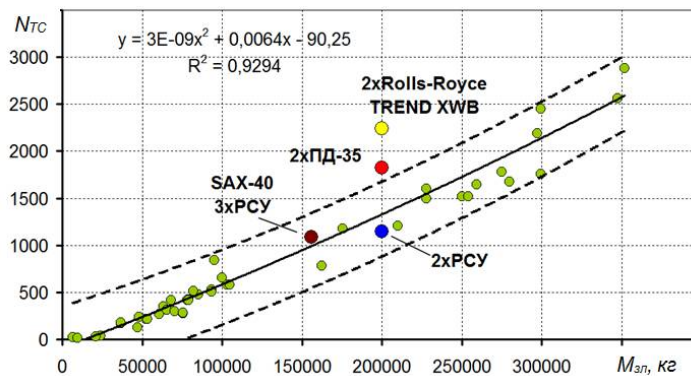


Рисунок 1 – Залежність $N_{TC} = f(M_{zl})$ для транспортних літаків

З іншого ж боку, визначене для перспективного зразка значення показника N_{TC} дозволяє визначити поєднання одиничних базових ЛТХ і, таким чином, визначити напрямки перспективних конструкторських проробок. Тут доречно підкреслити, що ця процедура відноситься до класу обернених задач з точки зору її математичного формулювання, оскільки існує нескінченно велика кількість варіантів поєднань. На цьому етапі, для обґрунтованого обмеження кількості можливих варіантів доцільно скористатися додатковими даними хінсайда, такими як залежності злітної маси від вантажопідйомності для транспортних літаків.

При визначенні показників силової установки (СУ) корисно використовувати залежність тяги СУ від злітної маси, яка наведена на рис. 2, а також показник інтеграції СУ і планера [9].

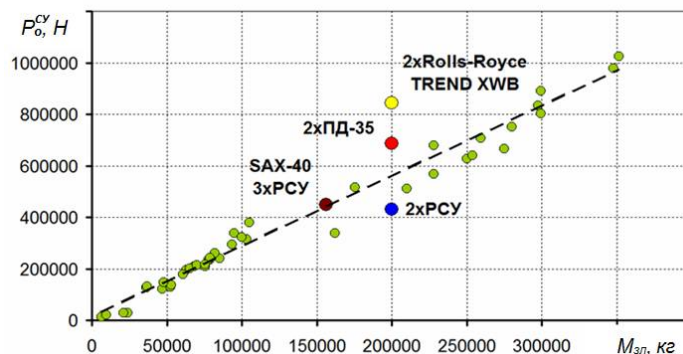


Рисунок 2 – Залежність $P_o^{CY} = f(M_{zl})$, що отримана для існуючих та перспективних транспортних літаків

Аналіз існуючих підходів показує, що вирішення проблеми інтеграції СУ і планера повітряного судна (ПС) побудовано, в основному, на рівні узгодження або оптимізації їх характеристик і не завжди дозволяє отримати необхідні характеристики в експлуатації. В результаті цього підвищуються матеріальні витрати як проектних, так і виробничих організацій на доведення виробів.

Інтеграція планера і СУ як комплексна проблема синтезу ПС включає в себе етапи: параметричний, критеріальний, конструктивний і технологічний. Найбільший інтерес представляє параметрична інтеграція, оскільки вона має найбільший вплив на визначення ЛТХ ПС на етапі попередніх розробок. Для дослідження параметрів СУ з

метою виявлення загальних закономірностей їх зміни необхідно поруч із комплексом конкретних льотно-технічних критеріїв оцінки ПС, розглянутих вище, мати єдиний узагальнюючий критерій, який би характеризував ефективність СУ в системі ПС і дозволяв знаходити оптимальні рішення в загальному вигляді. Різноманітність критеріїв пояснюється тим, що до різних ПС пред'являються в кожному конкретному випадку певні вимоги, які висуваються замовником. Для кожного конкретного проекту може вибиратися своя певна множина критеріїв і обмежень.

Для транспортного літака в якості зазначеного вище критерію може бути використаний показник інтеграції планера та СУ. Для його отримання уведемо наступні співвідношення: $(P_{\text{дв}} / G_{\text{зл}}) / S_{\text{нп}}$ – характеризує тягові можливості СУ на 1 м^2 несучої поверхні ПС; $C_{x_2} / S_{\text{м}}$ – характеризує питомий аеродинамічний опір гондоли в системі планера. Далі необхідно виділити тягу двигуна (або СУ), що припадає на питомий опір ПС, віднесено до 1 м^2 несучої поверхні. В результаті отримаємо наступний вигляд вказаного показника:

$$P_{\text{инт}} = \frac{(P_{\text{дв}} / G_{\text{зл}}) / S_{\text{нп}}}{C_{x_2} / S_{\text{м}}} = \frac{(P_{\text{дв}} / G_{\text{зл}}) S_{\text{м}}}{S_{\text{нп}} C_{x_2}}, \quad (4)$$

де $P_{\text{дв}}$ – тяга двигуна; $S_{\text{м}}$ – площа міделевого перетину ПС; $S_{\text{нп}}$ – площа несучої поверхні планера ПС; C_{x_2} – коефіцієнт аеродинамічного опору гондоли двигуна.

Фізична сутність розробленого показника інтеграції полягає у визначенні інтеграційної властивості ПС з урахуванням тягових, аеродинамічних і геометричних характеристик. Розроблений показник застосований для порівняльної оцінки транспортних літаків [9]. Літаки обрані з різним числом двигунів і розподілені по чотирьом групам: літаки з $4 \times \text{ТРД}$; літаки з $2 \times \text{ТРДД}$; літаки з $2 \times \text{ТРДД}$ і $1 \times \text{ТРД}$; літаки з $4 \times \text{ТРДД}$.

З використанням (4) стає можливим отримати деякі опорні значення конструктивних розмірів літака, таких як площа перетину по міделю, значення коефіцієнта лобового опору гондоли C_{x_2} , площа несучої поверхні. Відзначимо, що задача використання показника інтеграції СУ і планера для визначення відповідних показників, так само як і для описаного вище випадку з $N_{\text{ТС}}$, відноситься до класу обернених задач.

В цілому ж, показник інтеграції носить загальний характер і враховує основні характеристики СУ і планера ПС. Цей показник можна використовувати як для прямого визначення характеристик ПС, так і навпаки, задавшись його значенням, можна визначати параметри ПС як єдиної технічної системи. Визначаючи значення показника інтеграції для групи ПС, можна отримати узагальнені рівняння залежностей показника інтеграції від параметрів і характеристик СУ, а також елементів планера ПС.

Таким чином, розроблений показник інтеграції чутливий до кількості силових установок на ПС, дозволяє оцінювати ступінь (глибину) інтеграції планера і СУ ПС на етапах попередніх розробок, достатньо об'єктивно характеризує ступінь технічної досконалості конструктивно-компоновочного рішення ПС як єдиної технічної системи. Крім того, за допомогою розробленого показника інтеграції можна вирішувати і зворотну задачу. Задаючи значення показника інтеграції для обраного діапазону характеристик планера, можна визначати параметри і характеристики двигуна силової установки.

Для проведення порівняльного аналізу необхідно визначити основні принципи вибору показників і критеріїв, за якими необхідно оцінити ступінь інтеграції силової установки і планера транспортного ПС.

Висновки: Таким чином, на основі застосування відповідних показників розроблений регулярний підхід щодо оцінки ступеня інноваційності показників перспективного транспортного літака та формалізований хінсайд для цього класу повітряних суден. Враховуючи, що запропонований показник транспортної системи відображає досягнутий технічний рівень при створенні транспортних літаків, побудована функція, що послідовно відображає розвиток літаків цього класу, повинна доповнюватися показниками реалізованих вже проєктів. Доцільно при розробці форсайта оцінювати перспективні значення запропонованих інтегральних показників з подальшим переходом до аналізу окремих конструктивних і льотно-технічних характеристик літака.

Література

1. Marcus Shon. Possible application of cognitive computing as a means of technology foresight//Research activities 2017, p. 24–25.
2. Joubert P.N. Some Aspects of Submarine Design. Part 1. Hydrodynamics. 2004. 73 p.
3. Анипко О.Б. Концептуальное проектирование объектов бронетанковой техники / О.Б. Анипко, М.Д. Борисюк, Ю.М. Бусяк. – Харків: НТУ «ХПІ», 2008 – 198 с.
4. Project Management in Nuclear Power. Technical Reports. IAEA Nuclear Energy Series. №6, №P-T-2.7. 139 p.
5. Комаров В.А. Концептуальное проектирование самолёта: учеб. пособие / В.А. Комарови др. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2013. – 120 с.
6. Захаров И.Г. Концептуальный анализ в военном кораблестроении. – СПб.: Судостроение, 2001. – 264 с.
7. Анипко О.Б. Перечень показателей свойств и база данных ГТХ транспортного летательного аппарата как сложной технической системы // О.Б. Анипко, А.В. Приймак, Ю.И. Миргород / Інтегровані технології та енергозбереження. – Харків: НТУ «ХПІ», 2013. – №1. – С. 123–125.
8. Научные основы интегрированного проектирования самолетов транспортной категории / Д.С. Кива, А.Г. Гребеников – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т им. Н.Е. Жуковского «Харьк. авиац. ин-т», 2014. – Ч. 3. – 376 с.
9. Анипко О.Б. Интеграция силовой установки и планера транспортного самолета / О.Б. Анипко, В.Г. Башинский, В.В. Логинов, В.Б. Семенов. – Запорожье: Издательский комплекс АО «Мотор Сич», 2013 – 329 с.
10. Маслов В.Г. Теория и методы начальных этапов проектирования авиационных ГТД / В.Г. Маслов, В.С. Кузьмичев, А.Н. Коварцев, В.А. Григорьев. – Самара: СГАУ, 1996. – 147 с.
11. Соболев И.М. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями / И.М. Соболев, Р.Б. Статников. – М.: Наука, 1981. – 110 с.
12. Васильев Ф.П. Численные методы решения экстремальных задач / Ф.П. Васильев. – М.: Наука, 1988. – 698 с.
13. Подиновский В.В. Паретооптимальные решения многокритериальных задач / В.В. Подиновский, В.Д. Ногин. – М.: Наука, 1982. – 232 с.

Bibliography (transliterated)

1. Marcus Shon. Possible application of cognitive computing as a means of technology foresight//Research activities 2017, p. 24–25.

2. Joubert P.N. Some Aspects of Submarine Design. Part 1. Hydrodynamics. 2004. 73 p.
3. Anipko O.B. Kontseptualnoe proektirovanie ob'ektov bronetankovoy tehniki /O.B. Anipko, M.D. Borisyuk, Yu.M. Busyak. – Harkiv: NTU «HPI», 2008 – 198 p.
4. Project Management in Nuclear Power. Technical Reports. IAEA Nuclear Energy Series. #6, #R-T-2.7. 139 r.
5. Komarov V.A. Kontseptualnoe proektirovanie samolyota: ucheb. posobie / V.A. Komarovi dr. – Samara: Izd-vo Samar. gos. aerokosm. un-ta, 2013. – 120 p.
6. Zaharov I.G. Kontseptualnyy analiz v voennom korablestroenii. – SPb.: Sudostroenie, 2001. – 264 p.
7. Anipko O.B. Perechen pokazateley svoystv i baza dannykh TTH transportnogo letatel'nogo apparata kak slozhnoy tehnikeskoy sistemy // O.B. Anipko, A.V. Priymak, Yu.I. Mirgorod / Integrovani tehnologii ta energozberezhennya. – Harkiv: NTU «HPI», 2013. – #1. – P. 123–125.
8. Nauchnyie osnovy integririvannogo proektirovaniya samoletov transportnoy kategorii / D.S. Kiva, A.G. Grebenikov – H.: Nats. aerokosm. un-t im. N.E. Zhukovskogo «Hark. aviats. in-t», 2014. – Ch. 3. – 376 p.
9. Anipko O.B. Integratsiya silovoy ustanovki i planera transportnogo samoleta / O.B. Anipko, V.G. Bashinskiy, V.V. Loginov, V.B. Semenov. – Zaporozhe: Izdatelskiy kompleks AO «Motor Sich», 2013 – 329 p.
10. Maslov V.G. Teoriya i metodyi nachalnykh etapov proektirovaniya aviatsion-nykh GTD / V.G. Maslov, V.S. Kuzmichev, A.N. Kovartsev, V.A. Grigorev. – Samara: SGAU, 1996. – 147 p.
11. Sobol I.M. Vyibor optimalnykh parametrov v zadachah so mnogimi kriteriyami / I.M. Sobol, R.B. Statnikov. – M.: Nauka, 1981. – 110 p.
12. Vasilev F.P. Chislennyye metodyi resheniya ekstremalnykh zadach /F.P. Vasilev. – M.: Nauka, 1988. – 698 p.
13. Podinovskiy V.V. Paretooptimalnyie resheniya mnogokriterialnykh zadach / V.V. Podinovskiy, V.D. Nogin. – M.: Nauka, 1982. – 232 p.

УДК 621.45.02.024:05.054

Аніпко О.Б., д.техн.н., професор, Калкаманов С.А., д.техн.н., професор,
Приймак А.В., к.техн.н., с.н.с

ФОРМУЛИ ПРІОРИТЕТІВ І ХІНСАЙД-АНАЛІЗ ПРИ ВАРІАНТНИХ ПРОРОБКАХ НА ЕТАПІ КОНЦЕПТУАЛЬНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ТРАНСПОРТНОГО ЛІТАКА

Процес створення зразків будь-якої техніки, в тому числі й авіаційної техніки є достатньо складним багатоетапним процесом, який спрямований на вирішення цілого ряду різноманітних по складності завдань. Однак, якщо питання та завдання, які вирішуються безпосередньо на етапах проектування є достатньо добре вивченими та піддаються чіткій формалізації, то етапи концептуального проектування, на яких приймаються рішення про розробку проекту зразка вивчені недостатньо. Особливий інтерес викликає вирішення завдання оцінки фактично досягнутого технічного рівня вже реалізованих зразків техніки з подальшим прогнозування показників технічних вимог на перспективу та встановленням пріоритетності їх реалізації безпосередньо в процесі проє-

ктування. Показано, що його вирішення принципово можливе шляхом застосування інтегральних або комплексних показників, які дозволяють виконувати несуперечливе визначення показників технічних характеристик перспективного зразка із дотриманням призначеного пріоритету.

В статті розроблено основи такого підходу та продемонстрована можливість його реалізації на основі аналізу показників та льотно-технічних характеристик перспективного транспортного літака.

В рамках проведених досліджень розроблений регулярний підхід щодо оцінки ступеня інноваційності показників перспективного транспортного літака та формалізований хінсайд для цього класу повітряних суден на основі комплексного застосування розроблених авторами статті показників транспортної системи та інтеграції планера і силової установки літака. Продемонстровано високу їх ефективність щодо вирішення часткових завдань дослідження, таких як: оцінка ступеня інноваційності безпосередньо нового зразка транспортного літака; визначення напрямків перспективних конструкторських проробок; узгодження та встановлення пріоритетності показників та характеристик планера та силової установки літака.

Ключові слова: досягнутий рівень, формула пріоритетів, єдиний підхід, показник транспортної системи, нове рішення, можливі варіанти, інтеграційні властивості, показник інтеграції, порівняльний аналіз, хінсайд

Анипко О.Б., д.техн.н., професор, Калкаманов С.А., д.техн.н., професор,
Приймак А.В., к.техн.н., с.н.с

ФОРМУЛЫ ПРИОРИТЕТОВ И ХИНСАЙД-АНАЛИЗ ПРИ ВАРИАНТНЫХ ПРОРАБОТКАХ НА ЭТАПЕ КОНЦЕПТУАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНОГО САМОЛЕТА

Процесс создания образцов любой техники, в том числе и авиационной техники, является достаточно сложным многоэтапным процессом, который направлен на решение целого ряда различных по сложности задач. Однако, если вопросы и задачи, решаемые непосредственно на этапах проектирования достаточно хорошо изученными и поддаются четкой формализации, то этапы концептуального проектирования, на которых принимаются решения о разработке проекта образца изучены недостаточно. Особый интерес вызывает решение задачи оценки фактически достигнутого технического уровня уже реализованных образцов техники с последующим прогнозированием показателей технических требований на перспективу и установлением приоритетности их реализации непосредственно в процессе проектирования. Показано, что ее решение принципиально возможно путем использования интегральных или комплексных показателей, позволяющих выполнять непротиворечивое определение показателей технических характеристик перспективного образца с соблюдением назначенного приоритета.

В статье разработаны основы такого подхода и продемонстрирована возможность его реализации на основе анализа показателей и летно-технических характеристик перспективного транспортного самолета.

В рамках проведенных исследований разработан регулярный подход к оценке степени инновационности показателей перспективного транспортного самолета и формализован хінсайд для этого класса воздушных судов на основе комплексного использования разработанных авторами статьи показателей транспортной системы и интеграции планера и силовой установки самолета. Продемонстрирована высокая их эффективность по решению частных задач исследования, таких как: оценка степени инноваци-

онности непосредственно нового образца транспортного самолета; определение направлений перспективных конструкторских проработок; согласование и установление приоритетности показателей и характеристик планера и силовой установки самолета.

Ключевые слова: достигнутый уровень, формула приоритетов, единый подход, показатель транспортной системы, новое решение, возможные варианты, интеграционные свойства, показатель интеграции, сравнительный анализ, хинсайд

Anipko O.B., Kalkamanov C.A., Pryimak A.V.

PRIORITY FORMULAS AND HINDSIGHT ANALYSIS IN VARIATIONAL TREATMENT AT THE STAGE OF CONCEPTUAL DESIGN OF TRANSPORT AIRCRAFT (UTILITY AIRCRAFT)

The process of creating samples of any equipment, including aircraft, is a rather complex multi-stage process, which is aimed at solving a large number of various tasks in complexity. However, though the questions and tasks to be solved directly at the stage of design are well studied and clearly formalized, the stages of conceptual design where development decisions of prototype design are made have not been studied sufficiently. Of particular interest is the solution to the problem of assessment of actually achieved technical level of equipment models already implemented with the subsequent prediction of technical requirements for future and establishing the priority of their implementation directly in the design process. It is shown that such a solution is fundamentally possible, which allows to perform a coherent determination of indicators of technical characteristics of a prospective prototype in compliance with the priorities.

The article develops the foundations of such an approach and demonstrates the possibility of its implementation based on an analysis of indicators and aircraft performance characteristics of a perspective transport aircraft (utility aircraft).

In the framework of the research, a regular approach of the assessment of degree of innovation indicators of a perspective transport aircraft has been developed and hindsight for this class of aircraft on the basis of the integrated use of the transport system indicators and the integration of airframe and power system of the aircraft developed by the authors of the article have been formulated.. The high efficiency of the approach in solving particular research problems, such as: assessment of the innovation degree of a directly new model of a transport aircraft; determination of the directions of perspective design developments; coordination and prioritization of indicators and characteristics of the airframe and engine of the aircraft has been demonstrated.

Keywords: achieved level, priority formula, unified approach, transport system indicator, new solution, possible options, integration properties, integration indicator, comparative analysis, hindsight

Вовк О.І., к.техн.н., Щепцов О.В., к.техн.н., Курдюк С.В.

МОДЕЛЮВАННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ НРЛС ПРИ ВИЯВЛЕННІ МАЛОПОМІТНИХ ЦІЛЕЙ В УМОВАХ ЗАВАД

*Інститут Військово-Морських Сил Національного університету
“Одеська морська академія”*

Ключові слова: навігаційні РЛС, схемотехнічне моделювання НРЛС, малопомітні цілі.

Виявлення малопомітних цілей РЛС є актуальною та важливою для практики експлуатації радіотехнічних систем задачею; в роботі розглядається моделювання функціонування навігаційних РЛС [1–4] при виявленні малопомітних цілей у схемотехнічному середовищі Micro-Cap [5]. Моделювання проводилось для сигналів підсилювачів проміжних частот.

На рис. 1 зображена модель приймального тракту НРЛС, що складається з: генератору відеоімпульсів, що імітує сигнали НРЛС різної довжини в залежності від дальності до цілі; імітує інтенсивність відбитих від цілей сигналів; генератору гармонічного коливання, що дозволяє створити сигнал частоти роботи підсилювача проміжної частоти НРЛС; модулятору, що виконує операцію добутку сигналу відеоімпульсу та сигналу генератору гармонічного коливання, тобто формує радіоімпульс; селективного кола приймального тракту, що фільтрує корисні сигнали від цілей. Значення параметрів моделі та сигналів, що наводяться на рис. 1–6 вибрані такими, щоб ілюстративно показати можливості радіотехнічного моделювання і можуть відрізнятися від точних характеристик НРЛС. Наприклад, довжина імпульсу в моделі має значення більше ніж за ТТХ радарів; відрізняється і значення проміжної частоти, що не є принциповим у даному контексті.

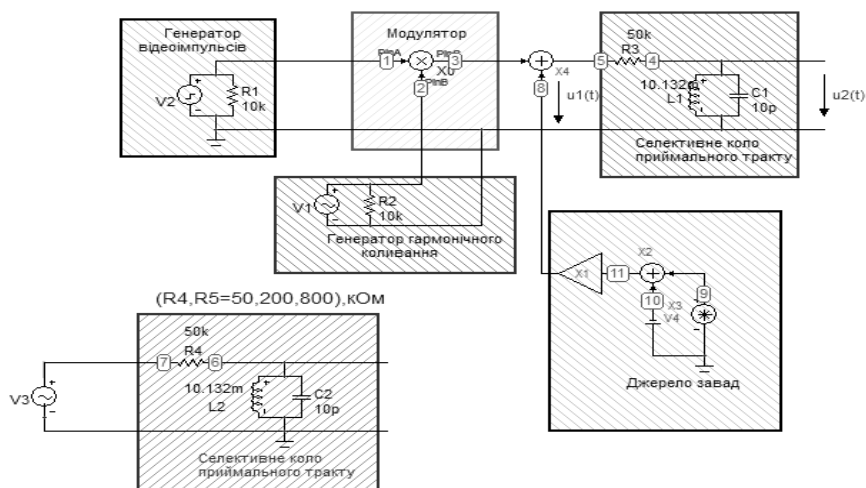


Рисунок 1 – Модель приймального тракту НРЛС в умовах завад

Селективне коло приймального тракту – паралельний коливальний контур, що складається з активного опору, конденсатору та котушки індуктивності. Модель, рис. 1, дозволяє змінювати параметри вказаних генераторів відповідно до конкретної НРЛС, узгоджувати їх роботу з селективним колом, нарощувати схемотехнічний тракт у відповідності до принципів схем реальних НРЛС. Модель дозволяє враховувати: форму зондуєчих радіоімпульсів НРЛС, частоту їх слідування та довжину, потужність радіоімпульсів, літерні частоти генеруючих магнетронів, значення проміжних частот приймальних трактів, коефіцієнтів підсилення приймачів НРЛС, добротність, селективність схем фільтрації.

Для імітації роботи НРЛС в умовах завод в моделі, рис. 1, введено джерело завод, що дозволяє створювати заводи природного та штучного походження, загороджувальні, прицільні та імітаційні [6]. Джерело завод складається з генератора постійної напруги, суматора, операційного підсилювача та генератора шуму визначеного спектрального діапазону. Функції вказаних підсилювача та генератора шуму:

- операційний підсилювач – імітує енергію заводи, виходячи з ТТХ станцій РЕБ, відстані до них, впливу підстильної поверхні, метеоумов та розташування НРЛС;
- генератор шуму – імітує спектр заводи заданого закону розподілу випадкової величини з урахуванням математичних очікувань та дисперсій заводових сигналів [7–8]; значення частот відповідають ТТХ станцій РЕБ чи спектрам відбиттів від реальних підстильних поверхонь (хвилювань моря різної інтенсивності), шумам приймачів.

Для створення імітаційних завод в якості джерела завод використовується схема аналогічна схемі на базі генератора відеоімпульсів, генератора гармонічного коливання та модулятора.

В даній роботі розглядалися випадки адитивних завод, що відображено суматором на схемі моделі приймального тракту, рис. 1.

На рис. 2–6 зображені спектри та осцилограми сигналів приймального тракту НРЛС. При цьому перша крива – сигнал з підсилювача проміжної частоти, що подається на вхід селективного кола, сигнал складається з корисного сигналу від цілі та шумової компоненти; друга крива – сигнал виходу селективного кола приймального тракту НРЛС, окремо на тому ж рисунку зображений сигнал заводи (третья крива). На кожному рис. 2–6 зображені спектри вказаних сигналів: спектр заводового сигналу, спектр сигналу з підсилювача проміжної частоти, спектр сигналу виходу селективного кола приймального тракту.

Подібний підхід щодо аналізу сигналів та їх спектрів можна побачити у [9–12], для випадкових сигналів завод у [7–8].

Вікно моделювання у середовищі Micro-Cap зображено на рис. 2, як і спектри та осцилограми сигналів приймального тракту НРЛС; на рис. 2 завода відсутня. Спектри та осцилограми сигналів приймального тракту НРЛС при різних рівнях завод, що попадають у смугу пропускання приймального тракту зображені на рис. 3.

На рис. 4 демонструються спектри та осцилограми сигналів приймального тракту НРЛС для випадку позасмугової заводи при різних рівнях її інтенсивності. В даному випадку завода має два рівня потужності: низький на рис. 4,а та високий на рис. 4,б. З рис. 4 видно, що навіть при значній потужності завода майже не спотворює корисні спектри та сигнали тракту підсилювача проміжної частоти, ефективність використання такої заводи залишається досить низькою.

На рис. 5 зображені сигнали від кораблів без стелс-технологій. На рис. 6 зображуються сигнали та спектри приймального тракту НРЛС для випадку зондування цілей зі стелс-технологіями: рис. 6,а – реальна стелс; рис. 6,б – ідеальна стелс-технологія. З

рис. 6 видно, що використання стелс-технологій призводить до значного зменшення потужності вхідних сигналів від цілей і при деяких їх рівнях завада повністю руйнує структуру корисних сигналів і виявлення цілей реальними НРЛС стає неможливим. При цьому дане моделювання дозволяє створити накладення двох реальних ситуацій практики: виявлення малопомітних цілей з елементами стелс-технологій та роботи НРЛС в умовах завод природного та штучного походження.

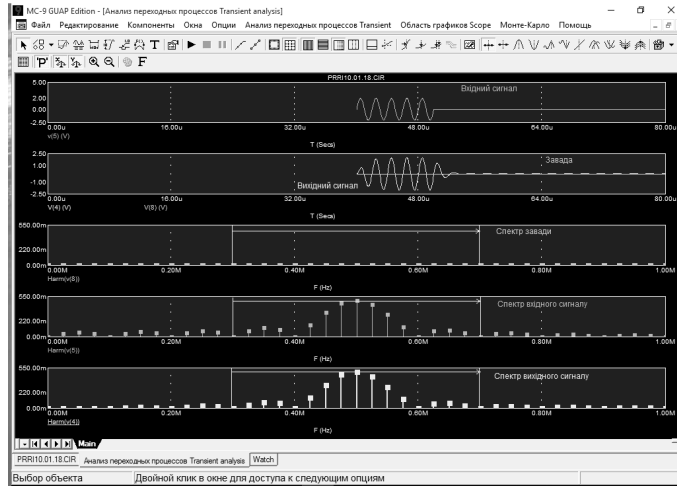


Рисунок 2 – Вікно моделювання у середовищі Мікро-Сар; спектри та осцилограми сигналів приймального тракту НРЛС

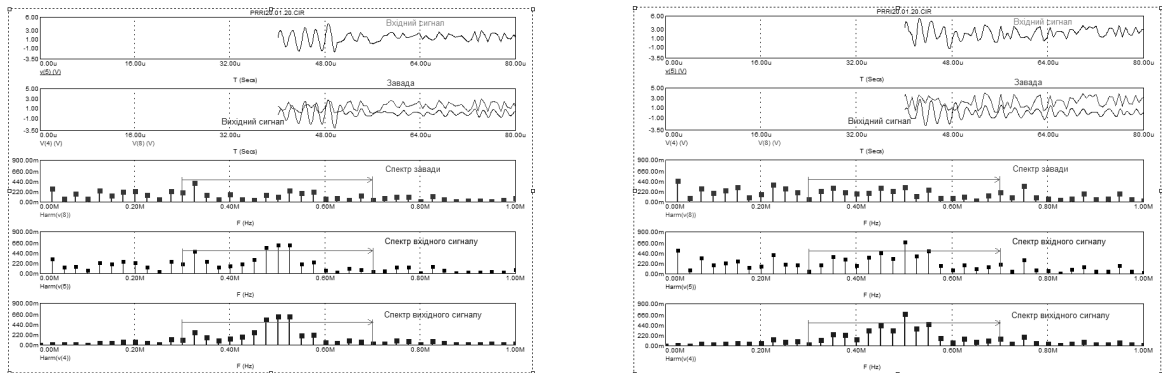


Рисунок 3 – Спектри та осцилограми сигналів приймального тракту НРЛС при різних рівнях завод: а – завада малої інтенсивності, б – завада середньої інтенсивності

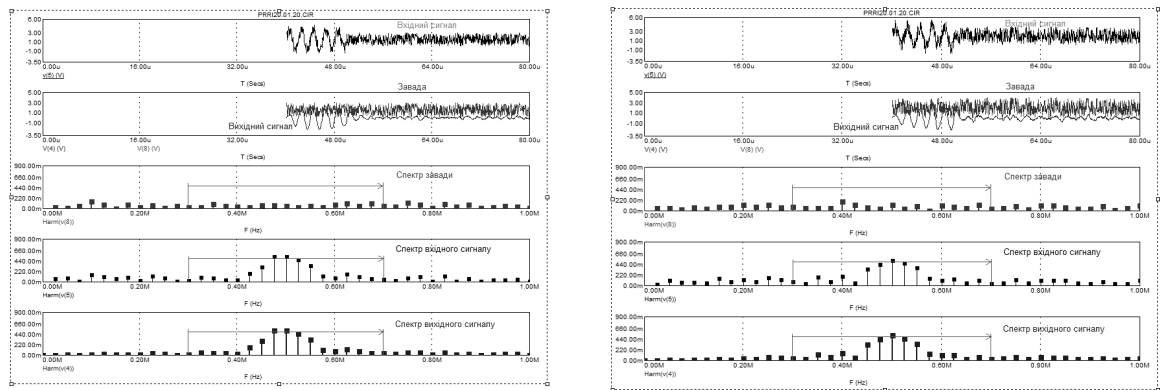


Рисунок 4 – Спектри та осцилограми сигналів приймального тракту НРЛС для випадку поза-смугової завади при різних рівнях її інтенсивності

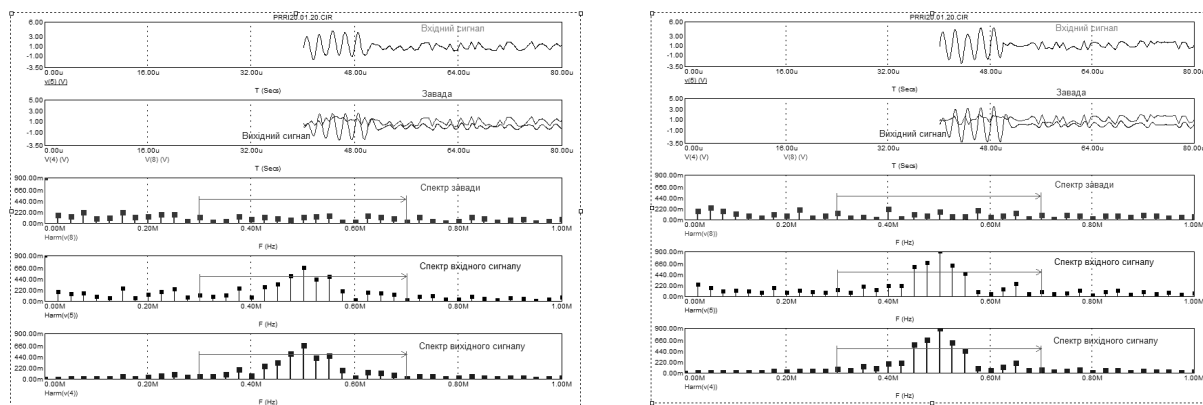


Рисунок 5 – Спектри та осцилограми сигналів приймального тракту НРЛС для випадку зондування кораблів звичайної форми: а – середня ЕПР; б – велика ЕПР

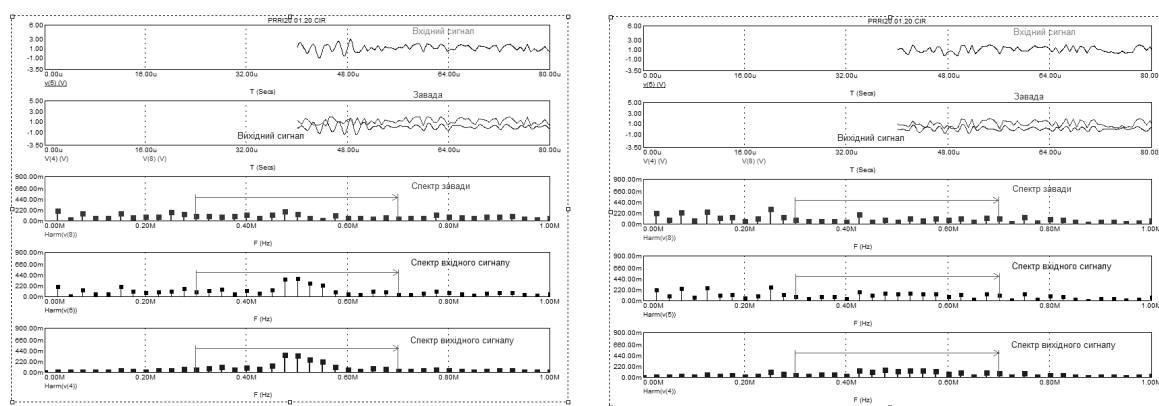


Рисунок 6 – Спектри та осцилограми сигналів приймального тракту НРЛС для випадку зондування цілей зі стелс-технологіями: а – реальна стелс; б – ідеальна

Висновок. В роботі показана можливість створення за допомогою сучасних схематехнічних програм типу Місго-Сар моделей функціонування НРЛС в умовах завад та при виявленні малопомітних цілей. Створена модель дозволяє: миттєво перевіряти всі практичні випадки зондування цілей, змінювати ситуації з урахуванням тактики застосування подібних радіотехнічних систем, враховувати відомі дані щодо зондування цілей з елементами стелс-технологій, закладати у якості параметрів в розроблену модель ТТХ НРЛС, станцій РЕБ, тип підстильної поверхні та метеоумови, розраховані потужності прийнятих сигналів. При цьому для розрахунку потужностей можна використовувати як основне рівняння радіолокації, так і враховувати вплив середовища поширення хвиль, діаграм спрямованості антен НРЛС, діаграм зворотного повторного розсіювання цілей. На базі розробленої моделі продемонстрований вплив на приймачі НРЛС завад, що попадають в смугу пропускання приймальних трактів та тих завад, які є позадіапазонними. Зображений вплив потужності сигналів завад, їх спектрів частот на якість вихідних сигналів приймальних трактів. Інтенсивна завада має значний вплив лише при попаданні в смугу пропускання приймального тракту. В роботі показані осцилограми та спектри сигналів відбитих від цілей з елементами стелс-технологій. В деяких ситуаціях сигнал від цілі з елементами стелс-технологій виділяється на фоні шумів і НРЛС виявляє такі цілі, в інших ситуаціях навіть при значних коефіцієнтах підсилення приймачів рівень сигналу стає рівним рівню завади і структура корисної сигнальної інформації повністю руйнується, а виявлення цілей стає неможливим. Останній

факт є свідченням необхідності створення кораблів зі стелс-технологіями, що відмічається протягом останніх десятиліть.

Література

1. Демиденко П.П. Судовые радиолокационные и радионавигационные системы: Учебное пособие. Одесса, 2008. – 334 с.
2. Галаган С.М., Вовк А.И., Попова В.С. Обнаружение и селекция морских целей РЛС военно-морских сил корабельного и наземного базирования на основе спектральных разложений / Системи озброєння і військова техніка. – Харків: ХУПС ім. І. Кожедуба, 2015. – № 3(43). – С. 27–34.
3. Ширман Я.Д. Теоретические основы радиолокации. / Ширман Я.Д. – М.: Сов.радио, 1970. – 560 с.
4. Радиотехнические системы: Учеб. для вузов по спец. «Радиотехника» / Ю.П. Гришин, В.П. Ипатов, Ю.М. Казаринов и др. – М.: Высш. шк., 1990. – 496 с.
5. Амелина М.А., Амелин С.А. Программа схемотехнического моделирования Micro-Cap 8. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 464 с.
6. Палий А.И. Радиоэлектронная борьба.– М.: Военное издательство, 1989.– 350 с.
7. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Наука, 1969. – 576 с.
8. Херхагер М., Партолль Х. Mathcad 2000: полное руководство. – К.: Издательская группа BHV, 2000. – 416 с.
9. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы: Учеб. пос. / С.И. Баскаков. – М.: Высш. шк., 2000. – 462 с.
10. Детерміновані сигнали та їх перетворення у радіотехнічних колах: навч. пос. / Е.А. Горюшкін, Б.Д. Деріпалов, В.Д.Карлов та ін. – Х.: ХВУ, 2003. – 232 с.
11. Сигнали та процеси в радіотехніці: Керівництво до лаб. р-т / Б. Д. Деріпалов, В. Д. Карлов, Є. О. Мількевич, В. А. Степаненко. – Харків: ХУПС, 2007. – 76 с.
12. Волощук Ю.І. Сигнали та процеси у радіотехніці. Т. 1-3. – Х.: Компанія СМІТ, 2003.

Bibliography (transliterated)

1. Demydenko P.P. Sudovye radyolokatsyonnye y radyonavyhatsyonnye systemy: Uchebnoe posobyue. Odessa, 2008. – 334 p.
2. S.M. Halahan, A.Y. Vovk, V.S. Popova Obnaruzhenye y selektsiya morskykh tselei RLS voenno-morskykh syl korabelnoho y nazemnoho bazyrovanyia na osnove spektralnykh rozlozheniy / Systemy ozbroiennia i viiskova tekhnika. – Kharkiv: KhUPS im. I. Kozheduba, 2015. – № 3(43). – P. 27–34.
3. Shyrman Ya.D. Teoretycheskye osnovy radyolokatsyy. / Shyrman Ya.D. – M.: Sov.radyo, 1970. – 560 p.
4. Radyotekhnicheskye systemy: Ucheb. dlia vuzov po spets. «Radyotekhnika» / Yu.P. Gryshyn, V.P. Ypatov, Yu.M. Kazarynov y dr. – M.: Vyssh. shk., 1990. – 496 p.
5. Amelyna M.A., Amelyn S.A. Prohramma skhemotekhnicheskoho modelyrovanyia Micro-Cap 8. – M.: Horiachaia lynia – Telekom, 2007. – 464 p.
6. Palyi A.Y. Radyoelektronnaia borba. – M.: Voennoe yzdatelstvo, 1989. – 350 p.
7. Venttsel E.S. Teoryia veroiatnostei. – M.: Nauka, 1969. – 576 p.
8. Kherkhaher M., Partoll Kh. Mathcad 2000: polnoe rukovodstvo. - K.: Yzdatelskaia hruppa BHV, 2000. – 416 p.
9. Baskakov S.Y. Radyotekhnicheskye tsepy y syhnały: Ucheb. pos. / S.Y. Baskakov. – M.: Vyssh. shk., 2000. – 462 p.

10. Determinovani syhnaly ta yikh peretvorennia u radiotekhnichnykh kolakh: navch. pos. / E.A. Horiushkin, B.D. Deripalov, V.D. Karlov ta in. – Kh.: KhVU, 2003. – 232 p.
11. Syhnaly ta protsesy v radiotekhnitsi: Kerivnytstvo do lab. r-t / B. D. Deri-palov, V. D. Karlov, Ye. O. Milkevych, V. A. Stepanenko. – Kharkiv: KhUPS, 2007. – 76 p.
12. Voloshchuk Yu.I. Syhnaly ta protsesy u radiotekhnitsi. T. 1-3. – Kh.: Kompaniia SMIT, 2003.

УДК 621.396.96

Вовк О.І., к.техн.н., Щепцов О.В., к.техн.н., Курдюк С.В.

МОДЕЛЮВАННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ НРЛС ПРИ ВИЯВЛЕННІ МАЛОПОМІТНИХ ЦІЛЕЙ В УМОВАХ ЗАВАД

Ефективність виявлення навігаційними РЛС цілей, особливо малопомітних остається відкритим та важливим питанням, від якого залежить виконання бойових завдань Військово-Морськими Силами ЗСУ. При цьому широке використання противником станцій завад вимагає від виробників РЛС впровадження останніх досягнень в області радіотехнічних систем для зменшення та компенсації їх дії.

В роботі наводиться можливість схмотехнічного моделювання функціонування навігаційних РЛС в умовах завад при виявленні малопомітних цілей. Моделювання проведено у середовищі Micro-Cap. Програма відноситься до SPICE-подібних програм аналогового і цифрового моделювання електричних та електронних схем з інтегрованим візуальним редактором, результати проведених за її допомогою досліджень вважаються достовірними.

При моделюванні дії завад в роботі використовувалась система комп'ютерної математики Mathcad. За її допомогою здійснювалась імітація спектру завади заданого закону розподілу випадкової величини з урахуванням математичних очікувань та дисперсій завадових сигналів; значення частот відповідали ТТХ станцій РЕБ чи спектрам відбиттів від реальних підстильних поверхонь, хвилюванням моря різної інтенсивності, шумам приймачів.

В статті зображені спектри та осцилограми сигналів приймального тракту навігаційних РЛС: при різних рівнях завад; для випадку позасмугової завади різної інтенсивності; для випадку зондування кораблів звичайної форми; для зондування цілей зі стелс-технологіями. Моделювання може стати корисним для оцінки впливу засобів РЕБ на корабельне радіотехнічне озброєння, для вироблення пропозицій щодо захисту навігаційних РЛС від завад природного та штучного походження, загороджувальних, прицільних та імітаційних.

Ключові слова: навігаційні РЛС, схмотехнічне моделювання НРЛС, малопомітні цілі

Вовк А.И., к.техн.н., Щепцов А.В., к.техн.н., Курдюк С.В.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ НРЛС ПРИ ОБНАРУЖЕНИИ МАЛОЗАМЕТНЫХ ЦЕЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ПОМЕХ

Эффективность обнаружения навигационными РЛС целей, особенно малозаметных остается открытым и важным вопросом, от которого зависит выполнение боевых задач Военно-Морскими Силами ВСУ. При этом широкое использование противником станций помех требует от производителей РЛС внедрения последних достижений в области радиотехнических систем для уменьшения и компенсации их действия.

В работе приводятся возможности схемотехнического моделирования функционирования навигационных РЛС в условиях помех при обнаружении малозаметных целей. Моделирование проведено в среде Micro-Cap. Программа относится к SPICE-подобным программам аналогового и цифрового моделирования электрических и электронных схем с интегрированным визуальным редактором, результаты проведенных с ее помощью исследований считаются достоверными.

При моделировании действия помех в работе использовалась система компьютерной математики Mathcad. С ее помощью осуществлялась имитация спектра помехи заданного закона распределения случайной величины с учетом математических ожиданий и дисперсий помеховых сигналов; значения частот отвечали ТТХ станций РЭБ или спектрам отражений от реальных подстилающих поверхностей, волнениям моря различной интенсивности, шумам приемников.

В статье показаны спектры и осциллограммы сигналов приемного тракта навигационных РЛС: при различных уровнях помех; для случая внеполосных помех различной интенсивности; для случая зондирования кораблей обычной формы; для зондирования целей со стелс-технологиями. Моделирование может стать полезным для оценки влияния средств РЭБ на корабельное радиотехническое вооружение, для выработки предложений по защите навигационных РЛС от помех естественного и искусственного происхождения, заградительных, прицельных и имитационных.

Ключевые слова: навигационные РЛС, схемотехническое моделирование НРЛС, малозаметные цели

Vovk O.I., Shcheptsov O.V., Kurdiy S.V.

MODELING THE FUNCTIONING OF NAVIGATION RADARS WHEN DETECTING STEALTH TARGETS IN THE CONDITIONS OF NOISE

The effectiveness of the detection by navigation radars of targets, especially stealth targets, remains an open and important issue from which the fulfillment of combat missions of the Navy. Moreover, the widespread use of electronic warfare requires radar manufacturers to introduce the latest advances in the field of radio systems to reduce and compensate for their effects.

The possibilities of circuit simulation of the functioning of navigation radars in the conditions of noise when detecting stealth targets are given. The simulation was carried out in a Micro-Cap environment. The program belongs to SPICE-like programs of analog and digital modeling of electrical and electronic circuits with an integrated visual editor, the results of studies conducted with its help are considered reliable.

When modeling the action of noise in the work, the computer mathematics system Mathcad was used. She usedused to simulate the noise spectrum of a given distribution law of a random variable taking into account the mathematical expectations and variances of the noise signals; frequency values corresponded to the performance characteristics of electronic warfare stations or to the reflection spectra from real underlying surfaces, reflections from sea waves of various intensities, and receiver noises.

The depicted spectra and waveforms of the signals of the receiving path of the navigation radar: at different levels of noise; for out-of-band noise of varying intensity; for the case of ships of the usual form; for sensing targets with stealth technology. Modeling may be useful for assessing the impact of electronic warfare on naval radio-technical weapons, to develop proposals for the protection of navigational radars from noise of natural and artificial origin, barrage, aiming and imitation noises.

Keywords: navigation radar, circuitry modeling of radar, stealth targets.

Горелишев С.А., к.техн.н., доцент, Баулін Д.С., к.техн.н., с.н.с., Козлов В.Є., к.техн.н., доцент, Сидоренко І.І., к.пед.н., Манжура С.А., докторант

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ВИБОРУ БРОНЕЕЛЕМЕНТУ НА ОСНОВІ ІНТЕГРАЛЬНОГО ПОКАЗНИКА ВЛАСТИВОСТЕЙ ТА КРИТЕРІЮ МІНІМУМУ ВАРТОСТІ

Національна академія Національної гвардії України

Ключові слова: бронееlement, бронестійкість, метод вибору, експертне оцінювання, об'єкт порівняння, шкала порядку, інтегральний показник, критерій мінімуму вартості.

Постановка проблеми. Вибір зразку бронееlementу з безліч існуючих різноманітних матеріалів і пропозицій є складним завданням. Необхідність оцінювання величезної кількості не зв'язаних між собою властивостей і характеристик бронематеріалів ускладнює процес прийняття рішення. Доводиться оцінювати їх властивості окремо і потім проводити вибір з урахуванням важливості характеристик. Такий підхід не повною мірою відображає правильність вибору.

В даний час відсутні рекомендації та пропозиції щодо комплексного вибору матеріалів для виготовлення засобів бронезахисту (ЗБ) і значне місце займає суб'єктивний підхід до вирішення цієї проблеми.

Тому, актуальною завдання є розробка науково-методичного апарату, за допомогою якого з'явиться можливість порівняти і оцінити різні властивості і характеристики бронематеріалів і привести їх до єдиного інтегрального показника.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Науковий підхід до вирішення завдань, пов'язаних із загальним забезпеченням якості в будь-якій предметній області проводиться відповідно до вимог міжнародних стандартів і ґрунтується на застосуванні методів кваліметрії, яка вивчає процеси кількісного оцінювання якості об'єктів порівняння (ОП) [1–3].

Серед властивостей ОП є такі, що характеризуються чисельними показниками і підлягають звичайному вимірюванню, і такі, що є якісними і можуть бути оцінені у чисельному вигляді лише експертним методом [4–7].

Основною процедурою експертного оцінювання є встановлення рис подібності або відмінності [4, 8, 9] з використанням шкал якісних ознак, зазвичай, шкали порядку (ШП). Для упорядкування (ранжирування, класифікації) ОП за певними ознаками, коли мова йде про дані так званої нечислової природи, для яких недостатня узгодженість ОП за одним із вимірів і малий обсяг вихідної вибірки не дає можливості отримати очікуваний результат [10, 11], використовують коефіцієнт кореляції Пірсона для шкал відношень, інтервалів та абсолютної (кількісної) шкали, рангову кореляцію Спірмена або Кендалла та інші – для шкали порядку [12].

Відомо, що вибір одного об'єкта (продукту, виробу, процесу, послуг тощо) із декількох виконується зазвичай шляхом його порівняння зі зразком (базовим об'єктом (БО)) або об'єктів порівняння (ОП) між собою [1,3,13,14].

Різноманітність шкал, що використовують для експертного оцінювання якості

захисних бронееlementів, достатньо широка, як і кількість методів обробки результатів оцінювання. Це утруднює вибір відповідних методологічних засобів для вирішення конкретного завдання вибору, основним з яких можна вважати побудову ранжируваних списків, що використовують для прийняття рішень.

Таким чином, дослідження шляхів оцінювання та порівняння властивостей захисних бронееlementів є актуальною та практично важливою задачею.

Метою даної статті є висвітлити можливість використання методу вибору елементів бронезахисту на основі інтегрального показника властивостей та критерію мінімуму вартості.

Виклад основного матеріалу

У [15] запропоновано метод вибору бронееlementів для забезпечення бронезахисту особового складу і військової техніки НГ України на основі результатів оцінювання ознак (показників якості) бронееlementів. Модель бронееlementа описується деякими вербальними ознаками, склад яких (вектор ознак) визначає група експертів – висококваліфікованих фахівців у даній галузі – прийнятим для цього методом приписування балів. В якості експертів виступили представники військових частин НГ України, викладачі профілюючих кафедр Національної академії НГ України, фахівці-розробники. Всього приймало участь в оцінюванні 32 експерти.

На першому етапі, шляхом вивчення інформаційної моделі експертами виділено 8 властивостей бронееlementів, які найбільш повно і якісно описують їх конструкційні та експлуатаційні характеристики. На другому етапі проведено експертне оцінювання цих властивостей та визначення їх ваги. За думкою експертів, частина параметрів пов'язані друг з другом, наприклад, поверхнева щільність, маса і товщина. Тому, при проведенні експертного оцінювання (визначення рангу та ваги властивостей) було прийнято рішення щодо обмеження кількості властивостей m до 6 [15]. Властивості бронееlementів позначені: B_0 – бронестійкість, B_1 – заперешкодна деформація, B_2 – маса, B_3 – граничне кульове навантаження, B_4 – товщина, B_5 – вартість. Крім того, базуючись на одностайній думці експертів про ступінь важливості властивостей, бронестійкість та вартість не входять у інтегральний показник оцінювання, а розглядаються як окремі критерії. Таким чином, інтегральний показник оцінювання буде складати такі властивості як заперешкодна деформація, маса, граничне кульове навантаження і товщина ($m = 4$).

На рис. 1 наведено номограма переведення шкал вимірювання ознак до універсальної чотирехбальної шкали (УЧШ).

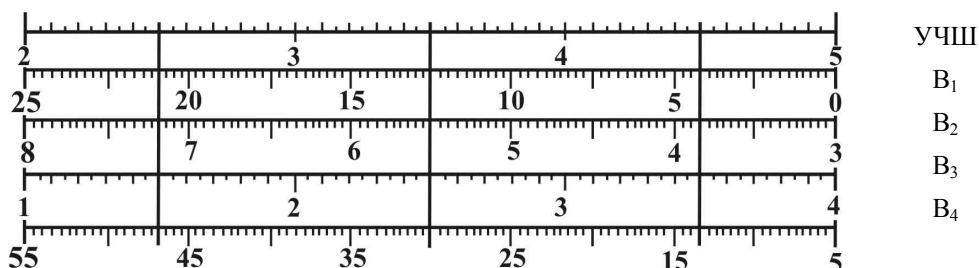


Рисунок 1 – Номограма переведення оцінок шкал складових інтегрального показника в УЧШ

Максимальні та мінімальні значення шкал вимірювань встановлено відповідно до керівних документів. Розроблений метод вибору бронееlementів [15] було застосо-

вано для вибору з наданих досліджуваних зразків елементів захисних структур, придатних для побудови ЗБ [16, 17].

Проаналізувавши дані забезпеченості підрозділів НГ України засобами індивідуального бронезахисту, ЗБ військової техніки та бронезахисними спорудами, а також перспективні розробки елементів бронезахисту, сформований перелік можливих зразків бронеелементів 6-го класу захисту:

Зр1 – бронеелемент (кераміка на основі оксиду алюмінію на НВМПЭ підкладці);

Зр2 – бронеелемент (кераміка на основі карбіду бору на сталевій підкладці);

Зр3 – бронеелемент компанії Ruukki (броневая сталь “Ramog 550”);

Зр4 – бронеелемент Національного наукового центру “ХФТІ” (двошарова металева пластина: перший шар – сталь У12А товщиною 3,6 мм, другий шар – сталь Ст3 товщиною 5,4 мм, спосіб з’єднання шарів – метод вакуумної прокатки за технологією виробника);

Зр5 – бронеелемент Національного наукового центру “ХФТІ”. (двошарова металева пластина: перший шар – сталь У12А товщиною 6,3 мм, другий шар – сталь Ст3 товщиною 2,7 мм, спосіб з’єднання шарів – метод вакуумної прокатки за технологією виробника);

Зр6 – бронеелемент (кераміка на основі карбіду кремнію на сталевій/алюмінієвій підкладці).

Кількісні оцінки властивостей B_1 – B_5 приведені у табл. 1.

Таблиця 1 – Кількісні оцінки властивостей бронеелементів розміром 300×250 мм

	Властивості бронеелементів				
	B_1 , мм	B_2 , кг	B_3 , шт	B_4 , мм	B_5 , грн
Зр1	3	3,5	3	22,0	3900
Зр2	5	2,65	1	15,0	7500
Зр3	1,8	5,3	4	9,5	5480
Зр4	4,4	4,1	1	9,0	2000
Зр5	2,2	4,1	4	9,0	2000
Зр6	3	4,05	3	35,6	5600

Ці дані є вхідними величинами для методу вибору бронеелементів. В табл. 2 наведено приклад визначення рангу ОП за чотирма ознаками B_1 - B_4 приведеними до УЧШ. Відповідно до розробленого методу з розгляду виключено Зр4 як той, що не пройшов тест за ознакою B_0 . Рейтинг зразків розраховано як середнє арифметичне оцінок B_1 - B_4 . Ранжований список подано в порядку зниження рейтингу ОП.

Таблиця 2 – Приклад ранжування ОП

ОП	Вимірювані ознаки				Рейтинг	Ранг
	B_1	B_2	B_3	B_4		
Зр1	4,65	4,7	4,00	3,95	4,325	3
Зр2	4,4	4,62	2,00	4,36	3,845	5
Зр3	4,87	3,6	5,00	4,72	4,547	2
Зр4	4,46	4,42	2,00	4,68		
Зр5	4,8	4,42	5,00	4,68	4,725	1
Зр6	4,65	4,4	4,00	3,2	4,062	4

Ще одним із методів визначення рейтингу кожного з ОП є розрахунок модифікованого коефіцієнта конкордації за формулою (1)

$$R_j = 1 - \frac{\sum_{i=1}^m |y_i - x_i|}{3m} \quad (1)$$

Результати розрахунків наведено в табл. 3. Цей метод найбільш придатний для експрес-обробки результатів дослідження.

Таблиця 3 – Ранги ОП за модифікованим коефіцієнтом конкордації

ОП	Вимірювані ознаки				R _j	Ранг
	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄		
Зр1	4,65	4,7	4,00	3,95	0,775	3
Зр2	4,4	4,62	2,00	4,36	0,615	5
Зр3	4,87	3,6	5,00	4,72	0,849	2
Зр5	4,8	4,42	5,00	4,68	0,908	1
Зр6	4,65	4,4	4,00	3,2	0,687	4

За тими ж вихідними даними апробовано інший метод ранжування, умовно кажучи, за “робочим” зразком [18], що реалізується таким чином: визначають кращий за результатом вимірювання або оцінювання ознаки об’єкт.

Рейтинговий коефіцієнт і-го ОП за вимірюваними та оцінюваними ознаками визначають таким чином:

- фіксують відповідне значення ознаки B_i;
- вибирають максимальне значення B_{макс} = max{B_i};
- розраховують значення K_i = B_i/B_{макс}.

Рейтинг і-го ОП K_{гi} розраховують як додатак всіх значень K_i (табл. 4).

Загальний рейтинг і-го ОП K_{зi} розраховують як відношення його рейтингу до максимального із значень рейтингів.

Таблиця 4 – Ранжування ОП за “робочим” зразком

ОП	Вимірювані ознаки								K _{гi}	K _{зi}	Ранг
	B ₁	K ₁	B ₂	K ₂	B ₃	K ₃	B ₄	K ₄			
Зр1	4,65	0,95	4,7	1	4,00	0,8	3,95	0,836	3,59	0,91	3
Зр2	4,4	0,90	4,62	0,98	2,00	0,4	4,36	0,923	3,21	0,81	5
Зр3	4,87	1	3,6	0,76	5,00	1	4,72	1	3,76	0,96	2
Зр5	4,8	0,98	4,42	0,94	5,00	1	4,68	0,991	3,91	1	1
Зр6	4,65	0,95	4,4	0,93	4,00	0,8	3,2	0,677	3,36	0,86	4

Рейтинг кожного із зразків можна також визначити шляхом розрахунку коефіцієнта відповідності K_в за формулою (2)

$$K_{vj} = \frac{S_{OP}}{S_E}, \quad (2)$$

де S_{OP} – площа багатокутника, утвореного шляхом з’єднання сусідніх значень оцінок ознак X_i та X_{i+1} j -го ОП, відкладених вздовж радіусів у графічному зображенні;

S_E – площа еталонного правильного багатокутника, вписаного у коло радіусу, який відповідає максимальному значенню оцінки ознаки X_{max} для вибраної шкали, тобто, фактично, базовий об’єкт.

Результати наведено в табл. 5 та на рис. 2.

Таблиця 5 – Ранги ОП за K_v

	Зр1	Зр2	Зр3	Зр5	Зр6
K_{vi}	0,75	0,62	0,83	0,89	0,66
Ранг	3	5	2	1	4

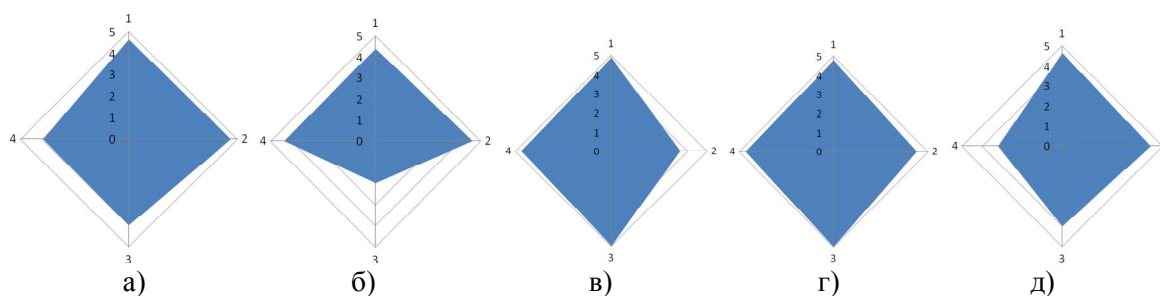


Рисунок 2 – Візуалізований образ зразка бронеелемента:
а) Зр1, б) Зр2, в) Зр3, г) Зр5, д) Зр6

У цілому, збіг результатів ранжування, які отримані описаними вище методами, відповідають концепції усталеності, згідно якої “результати обробки даних інваріантні відносно методу обробки, відповідають реальності, а результати, які залежать від методу обробки, відображають суб’єктивізм дослідника, а не об’єктивні відношення”.

Підкреслимо, що перелічені процедури припускали рівноважність усіх ознак ОП.

Вибір із наданих досліджуваних зразків елементів захисних структур завершують визначенням ОП за критерієм мінімуму вартості бронеелемента – Зр5.

Висновки. Вибір бронеелементів для засобів бронезахисту передбачає наявність:

- вимог до бронеелементів;
- засобів кількісного представлення цих вимог (шкал вимірювання);
- методів (способів) оцінювання відповідності бронеелементів вимогам, що до них пред’являються.

Побудована інформаційна модель бронеелемента, яка базується на деяких вербальних ознаках, склад яких (вектор ознак) визначає група експертів (бронестійкість,

заперешкодна деформація, маса, граничне кульове навантаження, товщина, вартість). Базуючись на одностайній думці експертів про ступень важливості властивостей, бронестійкість та вартість не входять у інтегральний показник оцінювання, а розглядаються як окремі критерії. Таким чином, інтегральний показник оцінювання буде складати такі властивості як заперешкодна деформація, маса, граничне кульове навантаження і товщина. Крім того, визначені їх вагові коефіцієнти.

Встановлено, що в якості універсальної шкали оцінювання у даному дослідженні використовувалася удосконалена чотирибальна шкала.

Показано, що при різних методах ранжування (за допомогою середнє арифметичного, модифікованого коефіцієнта конкордації, коефіцієнта відповідності) у цілому, спостерігається збіг результатів розрахунку. Це відповідає концепції усталеності, згідно якої “результати обробки даних інваріантні відносно методу обробки, відповідають реальності, а результати, які залежать від методу обробки, відображають суб’єктивізм дослідника, а не об’єктивні відношення”.

Література

1. ДСТУ ISO 9000-1-2001. Системи управління якістю. Основні положення та словник. – К.: Держстандарт України, 2001. – 27 с.
2. ДСТУ ISO 9002-95. Системи якості. Моделі забезпечення якості при проектуванні, розробці, виробництві, монтажі та обслуговуванні. – К.: Держстандарт України, 2015. – 42 с.
3. ДСТУ ISO 9004:2012. Управління задля досягнення сталого успіху організації. Підхід на основі управління якістю. – Київ: Мінекономрозвитку України, 2013. – 59 с.
4. Городнов В.П. Теоретические основы моделирования микроэкономических и других процессов и систем : монография. – Харьков: Акад. ВВ МВСУ, 2008. – 484 с.
5. Миркин Б.Г. Анализ качественных признаков и структур. – М.: Статистика, 1980. – 319 с.
6. Минин Б.А. Уровень качества. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 184 с.
7. Супес П., Зинес Дж. Основы теории измерений. Психологические измерения. – М.: Мир, 1967. – 110 с.
8. Шабалин С.А. Прикладная метрология в вопросах и ответах. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 192 с.
9. Раушенбах Г.В. Меры близости и сходства. Анализ нечисловой информации в социологических исследованиях. 1985. № 2. С. 169–203.
10. Красильников В.В. Статистика объектов нечисловой природы. – Наб. Челны: Изд-во Камского политехн. института, 2001. – 144 с.
11. Орлов А.И. Нечисловая статистика. – М.: МЗ-Пресс, 2004. – 516 с.
12. Корреляция. URL:<http://ru.wikipedia.org/wiki/Корреляция>. (дата звернення 15.06.2019).
13. Шишкин И.Ф. Метрология, стандартизация и управление качеством. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 343 с.
14. Крылова Г.Д. Основы стандартизации, сертификации и метрологии. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2002. – 711 с.

15. Манжура С.А. Метод вибору захисних елементів за допомогою інтегрального показника властивостей та критерію мінімуму вартості. Честь і закон. 2019. № 4. С. 37–43.
16. Манжура С.А. Индивидуальные средства бронезащиты: вопросы требований и классификации. Д.С. Баулин, С.А. Горельшев. Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України. Хмельницький : НАДПС. 2016. Вип. 3. С. 210–224.
17. Манжура С.А. Вибір матеріалів бронепластин для індивідуальних засобів бронезахисту сил охорони правопорядку. С.А. Манжура. Системи озброєння і військова техніка. Х.: ХНУПС. 2017. №2 (50). С. 89–93.
18. Дубровіна В.В. Встановлення узгодженості результатів при розв'язуванні задач експертного оцінювання. В.Є. Козлов, Ю.В. Козлов, О.О. Новикова. Зб. наук. праць НА НГУ. 2014. Вип. 2(24). С. 92–94.

Bibliography (transliterated)

1. DSTU ISO 9000-1-2001. Systemy upravlinnya yakisty. Osnovni polozhennya ta slovnyk. K.: Derzhstandart Ukrayiny, 2001. 27 p.
2. DSTU ISO 9002-95. Systemy yakosti. Modeli zabezpechennya yakosti pry proektuvanni, rozrobsi, VYROBNYTSTVI, montazhi ta obsluhovuvanni. K.: Derzhstandart Ukrayiny, 2015. 42 p.
3. DSTU ISO 9004: 2012. Upravlinnya Zadlya Dosyahnennya staloho uspiyku orhanyzatsyy. Pidkhid na osnove upravlinnya yakisty. Kyiv: Minekonomrozvytku Ukrayiny, 2013. – 59 p.
4. Gorodnov V.P. Teoreticheskiye osnovy modelirovaniya mikroekonomicheskim dostoynoy protsessov i sistem: monografiya. Khar'kov: Akad. VV MVDU, 2008. 484 p.
5. Mirkin B.G. Analiz kachestvennykh priznakov i struktur. M.: Statistika, 1980. 319 p.
6. Minin B.A. Uroven' kachestva. M.: Izd-vo standartov, 1989. 184 p.
7. Suppes P., Zines Dzh. Osnovy teorii izmereniy. Psikhologicheskkiye izmereniya. M.: Mir, 1967. 110 p.
8. Shabalin S.A. Prikladnaya metrologiya v voprosakh i otvetakh. M.: Izd-vo standartov, 1990. 192 p.
9. Raushenbakh G.V. Mery blizosti i skhodstva. Analiz nechislovoy informatsii v sotsiologicheskikh issledovaniyakh. 1985. № 2. P. 169–203.
10. Krasil'nikov V.V. Statistika ob"yektov nechislovoy prirody. Nab. Chelny: Izd-vo Kamskogo politekhn. instituta, 2001. 144 p.
11. Orlov A.I. Nechislovaya statistika. M.: MZ-Press, 2004. 516 p.
12. Korrelyatsiya. URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Korrelyatsiya>. (data zvernennya 15.06.2019).
13. Shishkin I.F. Metrologiya, standartizatsiya i upravleniye kachestvom. M.: Izd-vo standartov, 1990. 343 p.
14. Krylova G.D. Osnovy standartizatsii, sertifikatsii i metrologii. M.: YUNITI-DANA, 2002. 711 p.

15. Manzhura S.A. Metod vybora zashchitnykh elementov s pomoshch'yu integral'nogo pokazatelya svoystv i kriteriya minimuma stoimosti. Chest' i zakon. 2019. № 4. P. 37–43.

16. Manzhura S.A. Individual'nyye sredstva bronzashchity: voprosy trebovaniy i klassifikatsii. D.S. Baulin, S.A. Gorelyshev. Zbirnyk naukovykh prats' Natsyonal'noy akademyy Derzhavnoyi prykordonnoyi sluzhby Ukrayiny. Khmel'nyts'kyu: NADPSU. 2016. Vyp. 3. P. 210–224.

17. Manzhura S.A. Vybir materialiv broneplastyn dlya individual'nykh zasobiv bronezakhistu syl okhorony pravoporyadku. S.A. Manzhura. Systemy Ozbroyennya y viys'kova tekhnika. Kh.: KHNUPS. 2017. №2 (50). P. 89–93.

18. Dubrovina V.V. Vstanovlennya uz'hodzhenosti rezul'tativ pry rozv'yazuvanni zadach ekspertnoho otsynuyannya. V.YE. Kozlov, YU.V. Kozlov, O.O. Novykova. Zb. nauk. prats' NA NHU. 2014. Vyp. 2 (24). P. 92–94.

УДК 519.233.6:65.012.16

Горелишев С.А., к.техн.н., доцент, Баулін Д.С., к.техн.н., с.н.с.,
Козлов В.Є., к.техн.н., доцент, Сидоренко І.І., к.пед.н., Манжура С.А., докторант

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ВИБОРУ БРОНЕЕЛЕМЕНТУ НА ОСНОВІ ІНТЕГРАЛЬНОГО ПОКАЗНИКА ВЛАСТИВОСТЕЙ ТА КРИТЕРІЮ МІНІМУМУ ВАРТОСТІ

У статті побудована інформаційна модель бронеелемента, яка базується на деяких вербальних ознаках (вектор ознак), склад яких визначає група експертів – бронестійкість, заперешкодна деформація, маса, граничне кульове навантаження, товщина, вартість. Базуючись на одноставній думці експертів про ступень важливості властивостей, бронестійкість та вартість не входять у інтегральний показник оцінювання, а розглядаються як окремі критерії. Інтегральний показник оцінювання буде складати такі властивості як заперешкодна деформація, маса, граничне кульове навантаження і товщина. Визначені їх вагові коефіцієнти.

Встановлено, що в якості універсальної шкали оцінювання у даному дослідженні використовувалася удосконалена чотирибальна шкала. Максимальні та мінімальні значення шкал вимірювань встановлено відповідно до керівних документів.

Розроблено метод вибору бронеелементів, що складається з двох етапів. На першому етапі вибору відбраковуються всі зразки, які не відповідають критерію непробиття (бронестійкість). Другим етапом являється вибір за критерієм мінімуму вартості із ранжируваного переліку зразків, який побудований за допомогою інтегрального показника властивостей бронеелементу.

Показано використання методу вирішення задачі вибору захисних елементів за допомогою інтегрального показника його властивостей та критерію мінімуму вартості на прикладі визначених шості захисних структур різних виробників.

Приведено для даних зразків кількісні оцінки властивостей, які є вхідними величинами для методу вибору бронееlementів. Наведено приклад визначення рангу об'єкта порівняння за чотирма ознаками приведеними до універсальної чотирехбальної шкали.

Показано, що при різних методах ранжування (за допомогою середнє арифметичного, модифікованого коефіцієнта конкордації, коефіцієнта відповідності) у цілому, спостерігається збіг результатів розрахунку. Це відповідає концепції усталеності.

Ключові слова: бронееlement, бронестійкість, метод вибору, експертне оцінювання, об'єкт порівняння, шкала порядку, інтегральний показник, критерій мінімуму вартості.

Горельшев С.А., к.техн.н., доцент, Баулин Д.С., к.техн.н., с.н.с., Козлов В.Е., к.техн.н., доцент, Сидоренко И.И., к.пед.н., Манжура С.А., докторант

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ВЫБОРА БРОНЕЭЛЕМЕНТА НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЛЬНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ СВОЙСТВ И КРИТЕРИЯ МИНИМУМА СТОИМОСТИ

В статье построена информационная модель бронееlementа, основанная на некоторых вербальных признаках (вектор признаков), состав которых определяет группа экспертов – бронестойкость, запреградная деформация, масса, предельная пулевая нагрузка, толщина, стоимость. Основываясь на единодушном мнении экспертов о степени важности свойств, бронестойкость и стоимость не входят в интегральный показатель оценки, а рассматриваются как отдельные критерии. Интегральный показатель оценки будут составлять такие свойства как запреградная деформация, масса, предельная пулевая нагрузка и толщина. Определены их весовые коэффициенты.

Установлено, что в качестве универсальной шкалы оценивания в данном исследовании использовалась усовершенствованная четырехбальная шкала. Максимальные и минимальные значения шкал измерений установлены в соответствии с руководящими документами.

Разработан метод выбора бронееlementа, состоящий из двух этапов. На первом этапе выбора отбраковываются все образцы, которые не соответствуют критерию непробития (бронестойкость). Вторым этапом является выбор по критерию минимума стоимости из ранжированного перечня образцов, который был построенный с помощью интегрального показателя свойств бронееlementа.

Показано использование метода решения задачи выбора защитных элементов с помощью интегрального показателя его свойств и критерия минимума стоимости на примере заданных шести защитных структур различных производителей.

Приведены для данных образцов количественные оценки свойств, которые являются входными данными для метода выбора бронееlementа. Приведен пример определения ранга объекта сравнения по четырем признакам, значения которых переведены к универсальной чотирехбальной шкале.

Показано, что при различных методах ранжирования (с помощью среднего арифметического, модифицированного коэффициента конкордации, коэффициента соот-

ветствия) в целом, наблюдается совпадение результатов расчета. Это соответствует концепции устойчивости.

Ключевые слова: бронезащитный элемент, бронестойкость, метод выбора, экспертная оценка, объект сравнения, шкала порядка, интегральный показатель, критерий минимума стоимости.

Horielyshev S.A., Baulin D.S., Kozlov V.E., Sydorenko I.I., Manzhura S.A.

USE OF THE METHOD OF CHOOSING AN ARMOR ELEMENT BASED ON AN INTEGRAL INDICATOR OF PROPERTIES AND CRITERION OF MINIMUM VALUE

The article builds an information model of an armored element based on some verbal signs (vector of signs), the composition of which is determined by a group of experts – armor protection, backward deformation, weight, ultimate bullet load, thickness, cost. Based on the unanimous opinion of experts about the degree of importance of properties, armor protection and cost are not included in the integral indicator and are considered as separate criteria. The integral indicator of assessment will include such properties as backward deformation, mass, ultimate bullet load and thickness. Their weight coefficients are determined

It was found that an improved four-point scale was used as a universal assessment scale in this study. The maximum and minimum values of the measurement scales are set in accordance with the guidelines.

A method for the selection of armored elements, consisting of two stages. At the first stage of selection, all samples that do not meet the criterion of not breaking are rejected. The second step is to build a ranked list of armored elements with the help of an integral indicator of properties and select the minimum cost from them according to the criterion..

The use of the method for solving the problem of choosing protective elements using the integral indicator of its properties and the criterion of minimum cost is shown on the example of certain six protective structures of various manufacturers.

Quantitative estimates of the properties, which are input data for the method of choosing an armor element, are given for these samples. An example is given of determining the rank of a comparison object by four criteria, the values of which are translated to a universal four-point scale.

It is shown that with different ranking methods (using the arithmetic mean, modified coefficient of concordance, coefficient of correspondence) in general, the coincidence of the calculation results is observed. This is consistent with the concept of sustainability.

Keywords: armor element, armor protection, selection method, expert assessment, comparison object, order scale, integral indicator, minimum cost criterion.

Бірюков І.Ю.¹, д. техн. н., професор,
Бірюков О.І.², к. техн. н., начальник служби озброєння

ФОРМАЛІЗАЦІЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ВПЛИВУ ЗМІНИ ПОЧАТКОВОЇ ШВИДКОСТІ КУЛЬ КОРОТКОСТВОЛЬНОЇ ЗБРОЇ НА ЇХ ВРАЖАЮЧІ ВЛАСТИВОСТІ

¹Національна академія Національної гвардії України, м. Харків;

²Територіальне управління Національної гвардії України, м. Київ

Ключові слова: короткоствольна зброя, боєприпаси тривалого терміну зберігання, вага кулі, калібр кулі, початкова швидкість кулі, вбивча дія кулі, зупиняюча дія кулі, пробивна дія кулі, коефіцієнти, прискорена сила тяжіння.

На даний час Україна не має на своїй території підприємств, що спеціалізуються на виробництві всієї номенклатури стрілецьких боєприпасів (б/п). Їх запаси, що зберігаються в арсеналах, базах і на складах досить великі, але терміни їх зберігання складають більше 30 років і продовжують зростати. Під час цього тривалість терміну зберігання унітарного б/п, на такі його елементи, як куля, гільза і капсуль суттєвого впливу не має. Основний елемент б/п, чутливий до терміну його зберігання, здатний мимовільно розкладатися, зазнавати різних фізико-хімічних перетворень та, відповідно, змін своїх властивостей – це порохований заряд. Враховуючи це, використання пістолетних боєприпасів (б/п) тривалого терміну зберігання (ТТЗ) може призвести до невиконання бойового завдання в результаті зміни їх балістичних характеристик [1–6].

Беручи до уваги фактичне ведення сучасних бойових дій взагалі, та в зоні проведення Операції об'єднаних сил (ООС) на території східних областей України, в умовах діючих обмежень застосування артилерійського озброєння, коли відстань до супротивника під час вогневих контактів дорівнює дальності ефективного вогню зі стрілецької зброї, а в окремих випадках - взагалі зменшується, забезпечення виконання бойових завдань та збереження життя і здоров'я особового складу під час їх виконання набуває особливої актуальності [7].

Дана стаття є наслідком наукових досліджень фізико-хімічних змін порохів, які відбуваються в процесі їх старіння [1-4], продовженням наукових робіт, в яких досліджувався вплив терміну зберігання б/п на ефективність стрільби зброї [3-4, 8,] з метою узагальнення залежності впливу використання б/п ТТЗ на бойові характеристики короткоствольної зброї.

Вплив терміну зберігання б/п на початкову швидкість кулі 9 мм пістолетів розглядався у попередніх роботах [3–6, 8–9]. Враховуючи ураження живої сили противника, головним призначенням пістолетів для визначення впливу зміни початкової швидкості кулі на її взаємодію з цілью слід розглянути основні вражаючі властивості кулі. До основних вражаючих властивостей кулі належать вбивча, зупиняюча та пробивна дії кулі [4, 10–12].

Вбивча дія кулі – характеристика кулі, яка описує вірогідність заподіяння смерті при влученні в живу ціль. За вбивчу дію кулі приймемо втрату її кінетичної енергії. Ця характеристика має аналітичну залежність від параметрів кулі і найбільш повно відображає вплив різних факторів на її вбивчу дію [11].

Для розрахунку втрат кінетичної енергії кулі E , як характеристики її вбивчої дії,

використовували рівняння [11,12]:

$$\Delta E = \frac{q}{2gV} \cdot (1 + vV_c^2) \left(1 - \exp \left\{ -\frac{\pi}{2} g \lambda a \cdot v \frac{d^2}{g} S \right\} \right), \quad (1)$$

де a – коефіцієнт, який характеризує вплив міцності перешкоди на опір проникнення кулі у статичних умовах; v – коефіцієнт, який характеризує вплив щільності і в'язкості матеріалу перешкоди на опір руху кулі у динамічних умовах; S – довжина середовища, що пробивається; λ – коефіцієнт форми кулі; q – вага кулі; d – калібр кулі; g – прискорена сила тяжіння; V_c – швидкість кулі перед перешкодою.

Підставивши у рівняння (1) відповідні дані, отримано залежності убивчої дії кулі від її швидкості в момент зустрічі з цілью. Ця залежність визначена функцією $\Delta E(V_c)$, і представлена на рис. 1.

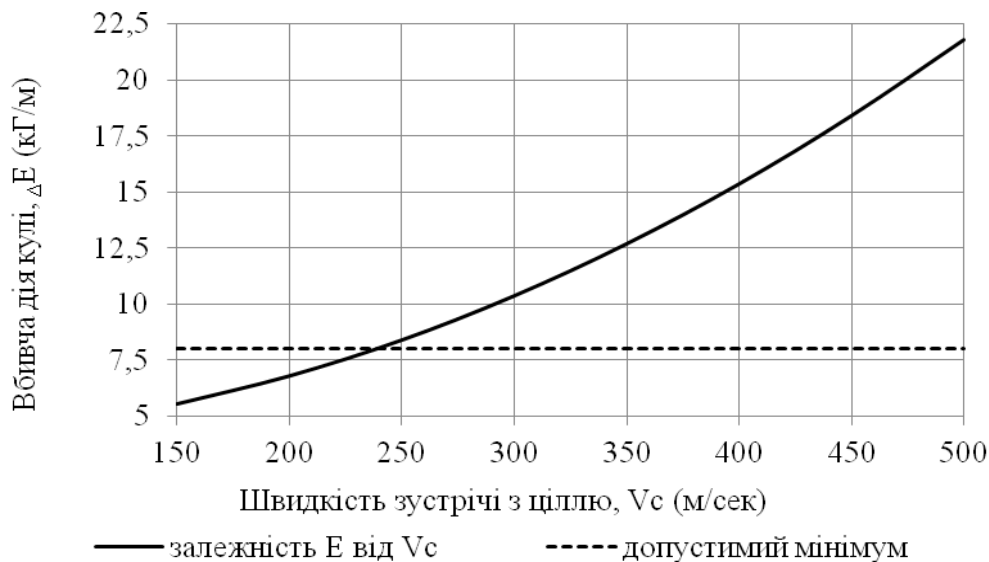


Рисунок 1 – Залежність убивчої дії 9 мм кулі від її швидкості при зустрічі з цілью

Виходячи з графіку (рис. 1) встановлено, що при швидкості пістолетної кулі калібру 9 мм в точці зустрічі з цілью, яка менша за табличну – убивча дія кулі буде менше 8 кГ/м (точка перетину графіків на рис. 1), тобто ураження цілі не буде гарантовано.

Визначено швидкості кулі при стрільбі з 9 мм пістолета Макарова (ПМ) б/п ТТЗ на різних відстанях. Розрахунки здійснено відповідно до математичної моделі та початкових швидкостей кулі, які були отримані в попередніх роботах [4,13] для трьох груп б/п:

- I група – патрони, терміном зберігання до 15 років,
- II група – патрони терміном зберігання від 15 до 30 років,
- III група – патрони терміном зберігання від 30 до 45 років.

Згідно з проведеними розрахунками встановлені залежності зменшення швидкостей куль від відстані. Ці залежності визначають відповідні функції $\Delta V(X)$, які розраховані, як поліноміальні лінії тренду 3-го ступеня [14] і представлені на рис. 2, у вигляді (2):

$$\begin{aligned} \Delta V_1(X) &= -2E - 06X^3 + 0,0018X^2 - 0,7467X + 314,64, \\ \Delta V_2(X) &= -2E - 06X^3 + 0,0017X^2 - 0,729X + 311,96, \\ \Delta V_3(X) &= -2E - 06X^3 + 0,0014X^2 - 0,6556X + 301,98. \end{aligned} \quad (2)$$

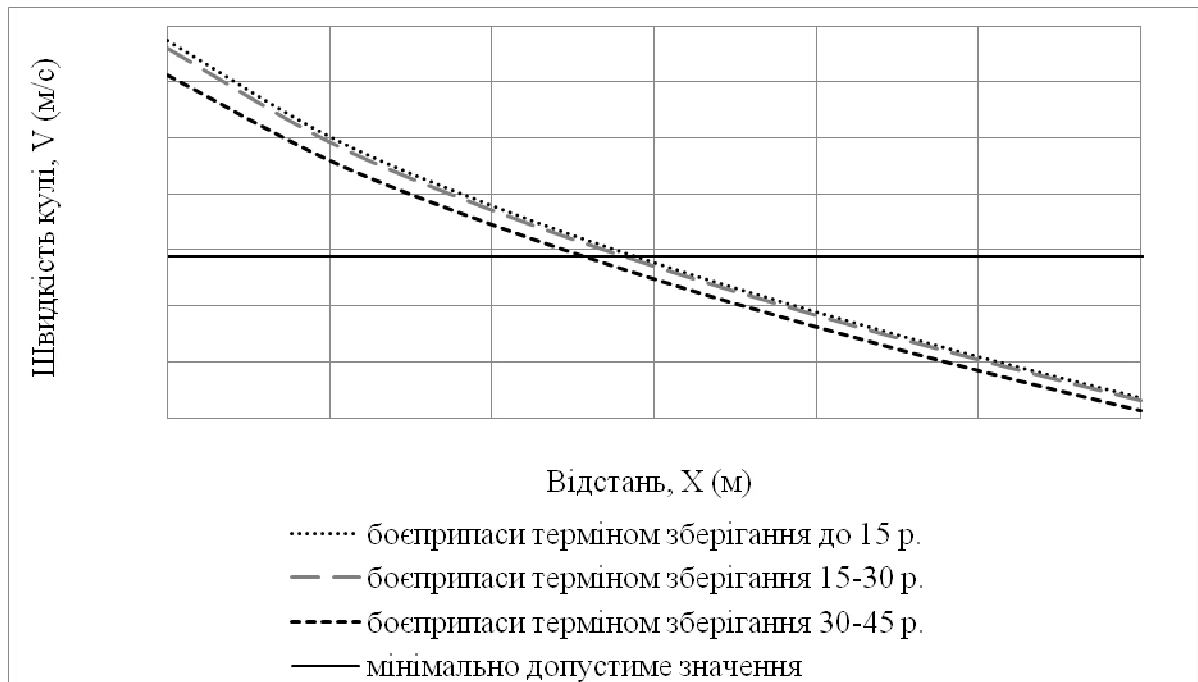


Рисунок 2 – Залежність швидкості кулі від відстані до цілі идкості кулі від відстані до цілі

Виходячи з отриманих залежностей (2) проведений аналітичний розрахунок для кожної групи мінімально допустимих відстаней до цілей, на ділянці яких швидкість кулі не знижуватиметься менш за табличну [15].

З їх допомогою встановлено залежності відстані гарантованої вбивчої дії кулі (X) від терміну зберігання б/п (T). Залежність визначена відповідною функцією $\Delta X(\Delta T)$, яка розрахована аналогічно попередній, як поліноміальна лінія тренду 2-го ступеня [14] зображена на рис. 3 і представлена у вигляді (3):

$$\Delta X(\Delta T) = -0,0002T^3 - 0,0044T^2 + 0,0767T + 146,1. \quad (3)$$

Зупиняюча дія (зупиняюча здатність) – характеристика кулі, яка визначає ступінь втрати противником здатності до вчинення ворожих дій після попадання в нього. За формулою Жоссера зупиняюча дія кулі дорівнює добутку її кінетичної енергії E (в момент зустрічі з ціллю) на площу поперечного перетину кулі S [12]. Вважається, якщо цей показник дорівнює 15, то це вже забезпечує знищення супротивника.

Спрогнозовані зворотньо пропорційні залежності зменшення зупиняючої дії кулі до зростання відстані до цілі. Ці залежності визначають відповідні функції $\Delta ZD(X)$. Вони розраховані як поліноміальні лінії тренду 3-го ступеня [14] та зображені на рис. 4 і представлені у вигляді (4):

$$\begin{aligned} \Delta ZD_1(X) &= -3E-07X^3 + 0,0003X^2 - 0,0919X + 20,054, \\ \Delta ZD_2(X) &= -3E-07X^3 + 0,0003X^2 - 0,089X + 19,714, \\ \Delta ZD_3(X) &= -3E-07X^3 + 0,0002X^2 - 0,0779X + 18,474. \end{aligned} \quad (4)$$

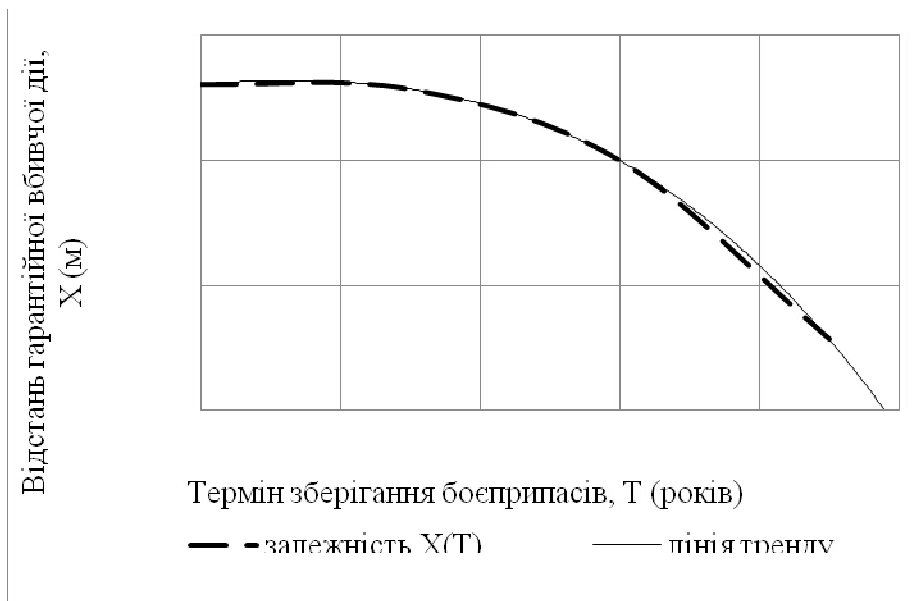


Рисунок 3 – Залежність відстані гарантованої вбивчої дії кулі від термінів зберігання б/п

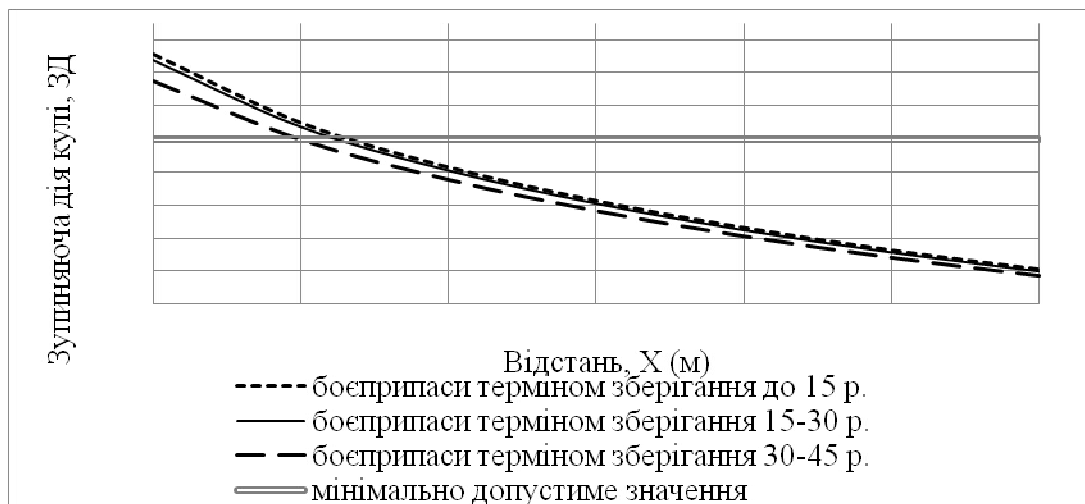


Рисунок 4 – Залежність зупиняючої дії кулі від відстані до цілі

Виходячи з отриманих аналітичних залежностей (4), розраховано для кожної групи мінімально допустимі відстані до цілей, на ділянці яких зупиняюча дія кулі не знижуватиметься менш за 15, з урахуванням можливої 20% похибки. Тобто, при стрільбі патронами терміном зберігання більше ≈ 30 років, зупиняюча дія кулі на ціль не буде гарантованою при стрільбі по ній на максимальній дистанції до цілі, відповідно дальності прямого пострілу з ПМ [15].

В подальшому стало можливо встановити залежності відстані гарантованої зупиняючої дії кулі (ЗД) від терміну зберігання б/п (Т). Залежність визначена відповідною функцією $\Delta X(T)$, яка розрахована аналогічно попередній, як поліноміальна лінія тренду 3-го ступеня [14] та зображена на рис. 5 у вигляді (5):

$$\Delta X(T) = -0,0003T^3 + 0,0098T^2 - 0,1022T + 66,9. \quad (5)$$

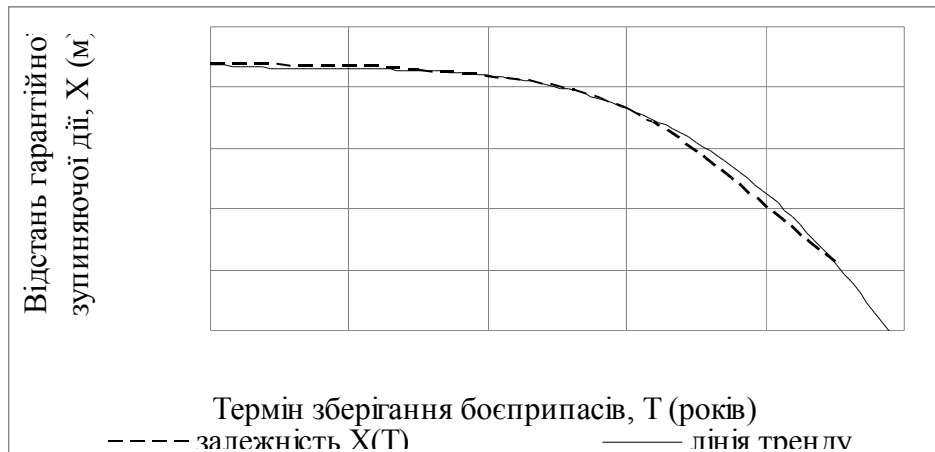


Рисунок 5 – Залежність відстані гарантованої зупиняючої дії кулі від термінів їх зберігання

Пробивна (проникаюча) дія кулі – здатність кулі, яка характеризується глибиною проникнення кулі у різного роду перешкоди або товщиною перешкоди, яку вона може пробити, та має велике самостійне значення, оскільки живі цілі можуть перебувати за легкими укриттями. Для її розрахунку використовували формулу Н. Забудського [11]:

$$S = \frac{q}{\frac{\pi}{2} g \lambda a v d^2} \ln(1 + v V_c^2). \quad (6)$$

Підставивши у (6) відповідні дані та коефіцієнти, які характеризують біологічну тканину, визначимо зворотньо пропорційні залежності зменшення проникаючої дії кулі від зростання відстані до цілі. Ці залежності визначають відповідні функції $\Delta S(X)$. Вони також розраховані для кожної групи б/п як і попередні та зображені на рис. 6 та представлені у вигляді (7):

$$\begin{aligned} \Delta S_1(X) &= -3E - 07X^3 + 0,0003X^2 - 0,01156X + 38,479, \\ \Delta S_2(X) &= -3E - 07X^3 + 0,0003X^2 - 0,113X + 38,068, \\ \Delta S_3(X) &= -3E - 07X^3 + 0,0002X^2 - 0,1023X + 36,529. \end{aligned} \quad (7)$$

З їх допомогою встановлено залежність пробивної дії кулі (S) від терміну зберігання б/п (T). Залежність визначена відповідною функцією $\Delta S(T)$, яка розрахована аналогічно попереднім, як поліноміальна лінія тренду 2-го ступеня [14] та зображена на рис. 7 і представлена у вигляді (8):

$$\Delta S(T) = -3E - 05T^3 + 0,0007T^2 - 0,0033T + 33,4. \quad (8)$$

Для порівняння розглянуто пробивну дію куль ТТЗ 7,62 мм револьвера ТОЗ-36 по сосновій дошці товщиною 40 мм на відстані 25 м револьверними патронами зі строкми зберігання 26 та 38 років. Результати наведені в табл. 1. та на рис. 8 [4].

Глибина проникнення кулі в перешкоду розраховувалась по формулі [11]:

$$S = 0,151 \cdot \frac{q}{b\lambda d^2} \cdot \lg\left(1 + \frac{b}{a} V_c^2\right), \quad (9)$$

де $\lambda = 1,91 - 0,35 \frac{h}{d}$ – коефіцієнт, що характеризує відносний вплив форми кулі на її проникну дію; a, b – коефіцієнти, що характеризують еханічні властивості перешкоди.

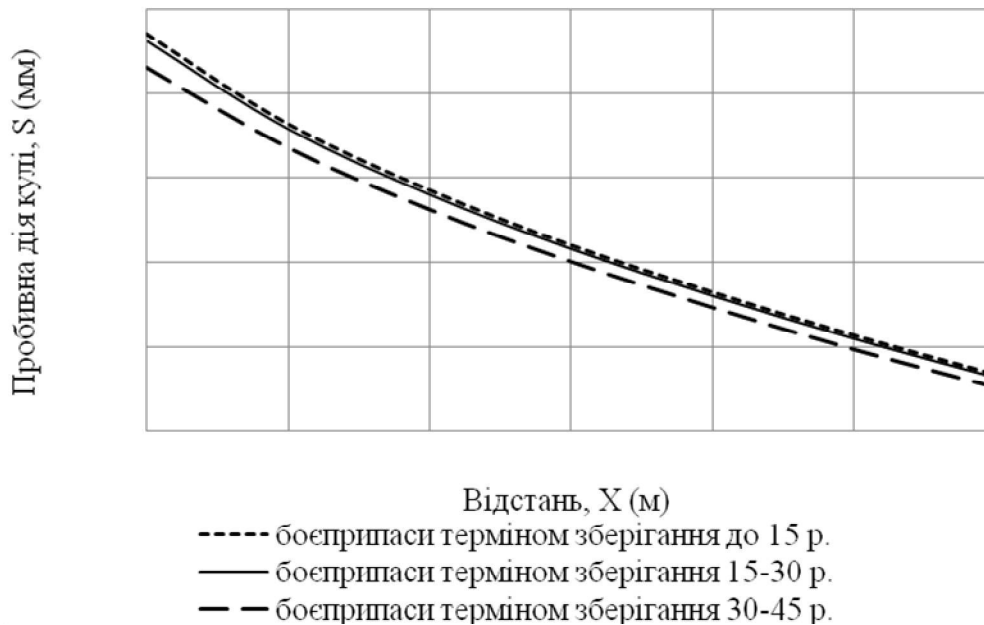


Рисунок 6 – Залежність пробивної дії кулі від відстані до цілі

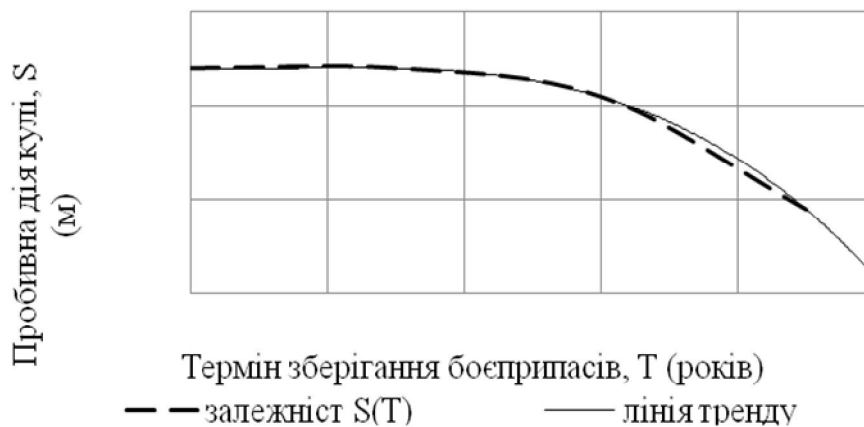


Рисунок 7 – Залежність пробивної дії кулі від термінів зберігання б/п

Підставляючи отримані величини початкових швидкостей куль у (9), одержані дані глибини проникнення куль в перешкоду, відповідно наведеним даним в табл. 2 [4].

Одержані результати можуть бути використані для прогнозування балістичних властивостей порохів і б/п залежно від тривалості їх зберігання, а також для розроблення рекомендацій щодо можливості застосування боєприпасів різних строків експлуатації у ході виконання службово-бойових завдань, бойової підготовки тощо.

Тому під час експлуатації стрілецької (короткоствольної) зброї потрібно врахову-

вати строки зберігання боєприпасів і відповідно до цього визначити додаткові терміни перевірки зношування каналів стволів та проводити корегування прицільних пристроїв за дальністю. А для забезпечення влучності стрільби необхідні введення виправлень в установку прицілу за дальністю, які компенсують зміну початкової швидкості кулі, обумовлені тривалим зберіганням боєприпасів та застосовувати розподіл боєприпасів на групи за початковою швидкістю кулі.

Таблиця 1 – Середні експериментальні дані пробивної дії револьверних куль

Строк зберігання, років	Наскрізне пробиття перешкоди, %
26	100
38	20



Рисунок 8 – Тильна сторона перешкоди (дошка)

Таблиця 2 – Пробивна дія куль (перешкода - дошка 40 мм)

Пор.№	Глибина проникнення куль (мм)			
	26 років		38 років	
	Розрахункова	Експериментальна	Розрахункова	Експериментальна
1	40,022	наскрізне	39,49	38
2	40,023	наскрізне	39,54	38
3	40,023	наскрізне	39,58	39
4	40,024	наскрізне	39,63	39
5	40,025	наскрізне	39,74	39
6	40,026	наскрізне	39,81	39
7	40,027	наскрізне	39,87	39
8	40,027	наскрізне	39,90	39
9	40,028	наскрізне	40,02	наскрізне
10	40,029	наскрізне	40,03	наскрізне

В подальшому для розв'язання даної задачі необхідно вирішити наступні завдання [16]:

– вдосконалити методики знаходжень закономірностей впливу термінів зберігання патронів на початкову швидкість куль, їх вражаючі властивості, на знос каналу ствола пістолетів та ймовірність влучення в ціль;

– визначити методики прогнозування бойових та експлуатаційних характеристик пістолетів з різною довжиною стволів в залежності від термінів зберігання 9 мм патронів.

– визначити закономірності впливу термінів зберігання б/п на зменшення початкової швидкості кулі, погіршення її вражаючих властивостей та збільшення інтенсивності зносу каналу ствола 9 мм пістолетів ПМ, АПС, «ФОРТ».

Таким чином, отримані данні про залежності зміни початкової швидкості куль (б/п ТТЗ) короткоствольної зброї від термінів зберігання. Отримані нові підходи дозволяють підвищити точність вихідних даних для здійснення планування забезпечення Збройних Сил України, Національної гвардії України, інших військових формувань короткоствольною зброєю та б/п до неї, а також усунути дисбаланс у плануванні по відношенню до існуючих методів, що визначається їх неточністю та неможливістю врахування особливостей використання б/п з (позагарантійними) ТТЗ.

Література

1. Анипко О.Б., Баулин Д.С., Зубарев В.В. Влияние сроков хранения боеприпасов на живучесть стволов стрелкового оружия [текст]. // Интегровані технології та енергозбереження. Х.: 2006. – №4. – С. 109–114.
2. Анипко О.Б., Бирюков И.Ю. Зависимость начальной скорости снаряда от максимального давления в канале ствола при выстреле зарядами длительного срока хранения [текст]. // Интегровані технології та енергозбереження. – Х.: 2006. – № 1. – С. 83–86.
3. Анипко О.Б., Бусяк Ю.М. Внутренняя баллистика ствольных систем при применении боеприпасов длительных сроков хранения: монография [текст]. // Х.: Акад. внутрішніх військ МВС України. – Х.: 2010. – 128 с.
4. Аніпко О.Б., Бірюков І.Ю., Баулін Д.С., Воробйов В.І. Особливості характеристик внутрішньої балістики порохових зарядів боеприпасів, які знаходяться за межами гарантійних строків зберігання [текст]: Навч.-метод. посіб. // – Х.: Акад. внутрішніх військ МВС України. 2008. – 50 с.
5. Анипко О.Б., Баулин Д.С., Муленко О.О. Проблема живучести стволов стрелкового оружия при применении боеприпасов послегарантийных сроков хранения [текст]. // Интегровані технології та енергозбереження. – Х.: 2010. – № 3. – С. 80–83.
6. Анипко О.Б., Баулин Д.С., Бирюков И.Ю. Влияние длительности хранения боеприпасов на баллистические характеристики стрелкового оружия [текст]. // Интегровані технології та енергозбереження. – Х.: 2007. – № 2. – С. 97–100.
7. Біла книга 2015 Збройні Сили України / МО ГШ ЗСУ - Київ, 2016, 104 с. Режим доступу: http://www.mil.gov.ua/content/files/whitebook/WB_2015.pdf.
8. Гурнович А.В. Методика врахування помилок підготовки й ведення стрільби при оцінці ефективності стрільби стрілецької зброї [текст]. // Збірник наукових праць. – К.: ЦНДІ ОВТ ЗСУ. 2003. – Вип.7. – С. 43–46.

9. Бирюков А.И. Особенности эксплуатации пистолетов со свободной отдачей затвора при использовании боеприпасов послегарантийных сроков хранения [текст]. // Интегровані технології та енергозбереження. – Х.: 2013. – № 2. – С. 80–85.
10. Семиколонов, Н.П., Бондаренко Ф.Г., Краснер Н.Я. Основы стрельбы из оружия стрелковых подразделений [текст]. // – М.: Воениздат МО СССР, 1958. – 266 с.
11. Калита О.М., Бірюков І.Ю., Шабалін О.Ю. Ефективність стрільби з стрілецької зброї [текст]: Навч. посіб. // – Х.: Нац. акад. НГУ. 2014. – 70 с.
12. Пробивное и останавливающее действие действие URL: http://www.rusarmy.com/stereolo/pst_pm_action (дата публікації 17.06.2018).
13. Бирюков О.І. Експериментальне дослідження ролі довжини ствола пістолета при використанні боеприпасів тривалих термінів зберігання [текст]. // Технологічний аудит та резерви виробництва. Х. – 2016. – № 4/1(30). – С. 9–21.
14. Lambert J., Frye C. Microsoft Office 2016. Step by Step. Microsoft Press, 2016. 564 p.
15. 9 мм пистолет Макарова ПМ [текст]: Наставление по стрелковому делу. – М.: Воениздат., 1982. – 96 с.
16. A. Biryukov, I. Biryukov, A. Gurnovich. An experimental study of the intensity of wear of a 9 mm gun barrel with the use of long-term ammunition // Technological audit that vibrobivita reserve. Kharkiv. – 2017. – № 2/2(34). – С. 48–54.

Bibliography (transliterated)

1. Anipko O.B., Baulin D.S., Zubarev V.V. Vliyanie srokov hraneniya boeprapasov na zhivuchest stvolov strelkovogo oruzhiya [tekst]. // Integrovani tehnologiyi ta energozberezhennya. H.: 2006. – #4. – P. 109–114.
2. Anipko O.B., Biryukov I.Yu. Zavisimost nachalnoy skorosti snaryada ot maksimalnogo davleniya v kanale stvola pri vyistrele zaryadami dlitelnoy sroka hraneniya [tekst]. // Integrovani tehnologiyi ta energozberezhennya. – H.: 2006. – # 1. – P. 83–86.
3. Anipko O.B., Busyak Yu.M. Vnutrennyaya ballistika stvolnyih sistem pri primeneni boeprapasov dlitelnyih srokov hraneniya: monografiya [tekst]. // H.: Akad. vnutrishnih viysk MVS UkraYini. – H.: 2010. – 128 p.
4. Anipko O.B., Biryukov I.Yu., Baulin D.S., Vorobyov V.I. Osoblivosti harakteristik vnutrishnoy balistiki porohovih zaryadiv boeprapasiv, yaki znahodyatsyaza mezhami garantiynih strokiv zberigannya [tekst]: Navch.-metod. posib. // – H.: Akad. vnutrishnih viysk MVS Ukrayini. 2008. – 50 p.
5. Anipko O.B., Baulin D.S., Mulyenko O.O. Problema zhivuchesti stvolov strelkovogo oruzhiya pri primeneni boeprapasov poslegarantiynih srokov hraneniya [tekst]. // Integrovani tehnologiyi ta energozberezhennya. – H.: 2010. – # 3. – P. 80–83.
6. Anipko O.B., Baulin D.S., Biryukov I.Yu. Vliyanie dlitelnosti hraneniya boeprapasov na ballisticheskie harakteristiki strelkovogo oruzhiya [tekst]. // Integrovani tehnologiyi ta energozberezhennya. – H.: 2007. – # 2. – P. 97–100.
7. Bila kniga 2015 Zbroyni Sili Ukrayini / MO GSh ZSU - KiYiv, 2016, 104 p. Rezhim dostupu: http://www.mil.gov.ua/content/files/whitebook/WB_2015.pdf.

8. Gurnovich A.V. Metodika vrahuvannya pomilok pidgotovki y vedennya strilbi pri otsintsi effektivnosti strilbi striletskoyi zbroyi [tekst]. // Zbirnik naukovih prats. –K.: TsNDI OVT ZSU. 2003. – Vip.7. – P. 43–46.

9. Biryukov A.I. Osobennosti ekspluatatsii pistol'etov so svobodnoy otdachey zatvora pri ispolzovanii boepripasov poslegarantiyniyh srokov hraneniya [tekst]. // Integrovani tehnologii ta energozberezheniya. – H.: 2013. – # 2. – P. 80–85.

10. Semikolenov, N.P., Bondarenko F.G., Krasner N.Ya. Osnovyi strelby iz oruzhiya strelkovyih podrazdeleniy [tekst]. // – M.: Voenizdat MO SSSR, 1958. – 266 p.

11. Kalita O.M., Biryukov I.Yu., Shabalin O.Yu. Efektivnist strilbi z striletskoyi zbroyi [tekst]: Navch. posib. // – H.: Nats. akad. NGU. 2014. – 70 p.

12. Probivnoe i ostanavlyuvayushee deystvie deystvie URL: http://ww.rusarmi.com/sterelo/pst_pm_action (data publikatsiyi 17.06.2018).

13. Biryukov O.I. Eksperimentalne doslidzhennya roli dovezhini stvola pistol'eta pri vikoristanni boepripasiv trivalih terminiv zberigannya [tekst]. // Tehnologichniy audit ta rezervi virobnitstva. H. – 2016. – # 4/1(30). – P. 9–21.

14. Lambert J., Frye C. Microsoft Office 2016. Step by Step. Microsoft Press, 2016. 564 r.

15. 9 mm pistol'et Makarova PM [tekst]: Nastavlenie po strelkovomu delu. – M.: Voenizdat., 1982. – 96 p.

16. A. Biryukov, I. Biryukov, A. Gurnovich. An experimental study of the intensity of wear of a 9 mm gun barrel with the use of long-term ammunition // Technological audit that vibrobitvita reserve. Kharkiv. – 2017. – # 2/2(34). – P. 48–54.

УДК 623.40.1

Бірюков І.Ю., Бірюков О.І.

ФОРМАЛІЗАЦІЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ВПЛИВУ ЗМІНИ ПОЧАТКОВОЇ ШВИДКОСТІ КУЛЬ КОРОТКОСТВОЛЬНОЇ ЗБРОЇ НА ЇХ ВРАЖАЮЧІ ВЛАСТИВОСТІ

У статті розглянуто формалізацію залежності впливу зміни початкової швидкості куль короткоствольної зброї на їх вражаючі властивості. Враховуючи ураження живої сили противника, головним призначенням пістолетів для визначення впливу зміни початкової швидкості кулі на її взаємодію з ціллю розглянуто основні вражаючі властивості кулі: вбивча, зупиняюча та пробивна дії кулі.

Проаналізовані залежності убивчої дії кулі від її швидкості в момент зустрічі з ціллю та встановлено, що при менших швидкостях пістолетних куль калібру 9 мм в точці зустрічі з ціллю, вбивча дія цих куль буде відповідно менше допустимої, тоді в даному випадку ураження цілі не буде гарантовано.

Встановлені для куль калібру 9 мм: залежності зменшення швидкостей куль від відстані, які розраховані як поліноміальні лінії тренду 3-го ступеня; мінімально допустимі відстані до цілей, на ділянці яких швидкість куль не знижуватиметься менш за табличну, а також не знижуватимуться відстані гарантованої вбивчої дії кулі залежно від терміну зберігання б/п, розраховані аналогічно попереднім, як поліноміальні лінії

тренду 2-го ступеня; пропорційні залежності зменшення зупиняючої дії кулі до зростання відстані до цілі, на ділянці яких зупиняюча дія кулі не знижуватиметься менш табличної; залежності пробивної дії кулі від терміну зберігання б/п, яка визначена відповідною функцією, що розрахована аналогічно попереднім, як поліноміальна лінія тренду 2-го ступеня.

Наведені середні експериментальні дані величини початкових швидкостей револьверних куль довготривалих термінів зберігання калібру 7,62 мм та одержані дані глибини їх проникнення в перешкоду, що представлено наглядно.

Представлені висновки і рекомендації для забезпечення влучності стрільби із стрілецької, в тому числі короткоствольної зброї та б/п до неї, а також завдання, які необхідно провести в подальшому для розв'язання даної задачі.

Ключові слова: короткоствольна зброя, боєприпаси тривалого терміну зберігання, вага кулі, калібр кулі, початкова швидкість кулі, вбивча дія кулі, зупиняюча дія кулі, пробивна дія кулі, коефіцієнти, прискорена сила тяжіння.

Бирюков И.Ю., Бирюков А.И.

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЗАВИСИМОСТИ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ НАЧАЛЬНОЙ СКОРОСТИ ПУЛЬ КОРТКОСТВОЛЬНОГО ОРУЖИЯ НА ИХ ПОРАЖАЮЩИЕ СВОЙСТВА

В статье рассмотрена формализация зависимости влияния изменения начальной скорости пуль короткоствольного оружия на их поражающие свойства.

Учитывая поражение живой силы противника, главным назначением пистолетов для определения влияния изменения начальной скорости пули и ее взаимодействие с целью рассмотрены основные поражающие свойства пули: убойное, останавливающее и пробивное действия пули.

Проанализированы зависимости убойного действия пули от ее скорости в момент встречи с целью и установлено, что при меньших скоростях пистолетных пуль калибра 9 мм в точке встречи с целью, убойное действие этих пуль будет соответственно меньше допустимого, тогда в данном случае поражение цели не будет гарантировано.

Установлены для пуль калибра 9 мм: зависимости уменьшения скоростей пуль от расстояния, рассчитанные как полиномиальные линии тренда 3-й степени; минимально допустимые расстояния до целей, на участке которых скорость пуль не будет снижаться ниже табличной, а также не будут снижаться расстояния гарантированного убойного действия пули в зависимости от срока хранения б/п, рассчитанные аналогично предыдущим, как полиномиальные линии тренда 2-й степени; пропорциональные зависимости уменьшения останавливающего действия пули к увеличению расстояния до цели, на участке которых останавливающее действие пули не будет снижаться ниже табличного; зависимости пробивного действия пули от срока хранения б/п, определенные соответствующими функциями, рассчитанными аналогично предыдущим, как полиномиальная линия тренда 2-й степени.

Приведены средние экспериментальные данные величины начальных скоростей револьверных пуль долгих сроков хранения калибра 7,62 мм и получены данные глубины их проникновения в преграду, что показано наглядно.

Представлены выводы и рекомендации для обеспечения точности стрельбы из стрелкового, в том числе короткоствольного оружия и б/п к ним, а также задачи, которые необходимо решить в дальнейшем.

Ключевые слова: короткоствольное оружие, боеприпасы длительного срока хранения, вес пули, калибр пули, начальная скорость пули, убийственное действие пули, останавливающее действие пули, пробивное действие пули, коэффициенты, ускоренная сила тяжести.

Biryukov I., Biryukov A.

FORMALIZATION OF DEPENDENCE ON THE INFLUENCE OF CHANGING INITIAL SPEED SHORT-WEAPON WEAPONS AT THEIR IMPRESSIVE PROPERTIES

The article deals with the formalization of the dependence of the influence of changes in the initial velocity of small arms on their striking properties. Considering the enemy manpower damage, the main purpose of the pistols to determine the effect of changing the initial velocity of the bullet on its interaction with the purpose considered the main striking properties of the bullet: the killing, stopping and punching action of the bullet.

The dependence of the killing effect of the bullet on its velocity at the moment of the target was obtained and it was found that at lower velocities of pistol bullets of 9 mm caliber at the point of encounter with the target, the killing effect of these bullets would be correspondingly less than permissible, in which case the target would not be guaranteed hit. Installed for 9 mm calibers: dependencies of the velocity reduction of the spheres on the distance, which are calculated as polynomial trend lines of the 3rd degree; minimum permissible distances to targets at which the velocity of the bullets will not decrease less than the table, nor will the distance of the guaranteed bullet action of the bullet be reduced depending on the shelf life of ammunition calculated similarly to the previous one, as polynomial trend lines of the 2nd degree; the proportional dependences of the reduction of the stopping action of the ball to increase the distance to the target, in which the stopping action of the ball will not decrease less than the table; the dependence of the punch action of the ball on the shelf life of ammunition, which is defined by the corresponding function, calculated similarly to the previous ones, as a polynomial trend line of the 2nd degree.

The average experimental data of the magnitude of the initial velocities of the revolver bullets of long-term storage of the 7.62 mm caliber are presented and the data of the depth of their penetration into the obstacle are obtained, which is presented clearly.

Conclusions and recommendations are provided to ensure the accuracy of small arms, including shotguns and ammunition, as well as the tasks that need to be undertaken in the future to accomplish this task.

Keywords: short-barreled weapons, ammunition of long shelf life, bullet weight, bullet caliber, initial bullet speed, killing effect of a bullet, stopping the action of a bullet, penetrative effect of a bullet, coefficients, accelerated gravity.

Гумницький Я.М., д.техн.н., професор, Симак Д.М., д.техн.н., професор,
Сабадаш В.В., д.техн.н., доцент, Атаманюк В.М., д.техн.н., професор

ЗОВНІШНЬО ДИФУЗІЙНА КІНЕТИКА МАСООБМІНУ. ОСОБЛИВОСТІ КІНЕТИКИ АДСОРБЦІЇ

Національний університет «Львівська політехніка»

Ключові слова: масообмін, зовнішньо дифузійна кінетика, адсорбція, рушійна сила.

Постановка проблеми. Масообмін у системах з твердою фазою займає важливе місце у хімічній та суміжних з нею технологіях. До цих процесів належать розчинення, екстрагування з твердої фази, кристалізація, адсорбція, іонний обмін, сушіння [1,2].

Зовнішньодифузійна кінетика мікропроцесів у системі тверде тіло–рідина визначає їх швидкість емпіричним рівнянням масовіддачі, яке для процесів масообміну у системах з твердою фазою може бути записане у формі [1]

$$\frac{dM}{d\tau} = \beta \cdot F(C_n - C); \quad \frac{dM}{d\tau} = \beta \cdot F(C - C_n). \quad (1)$$

Рівняння (1) описують цілий ряд масообмінних процесів, у тому числі і процесів адсорбції. Перше рівняння описує транспорт маси з об'єму рідини до поверхні твердої фази, друге – з твердої поверхні до середовища. Під терміном рідина слід розуміти газ і краплинну рідину. У дане рівняння входять наступні параметри:

M – маса компонента, який у випадку адсорбції транспортується до поверхні твердого адсорбента; F – зовнішня поверхня адсорбенту; C – концентрація компонента у середовищі, з якого або до якого відбувається адсорбція; C_n – концентрація компонента у приповерхневому шарі твердого тіла (у тому числі адсорбента); τ – час; β – коефіцієнт масовіддачі, який визначає інтенсивність проведення процесу. Коефіцієнт β визначається гідродинамікою, яку найбільш часто представляють числом Рейнольдса.

Коефіцієнт масовіддачі β визначається експериментально, використовуючи при цьому рівняння (1), у які входить як концентрація в об'ємі розчину C , так і приповерхнева концентрація C_n . Перше з рівнянь (1) використовується у системах з твердою фазою, коли маса речовини передається з твердої поверхні до рідини. До цих процесів належить розчинення, екстрагування, сушіння, десорбція. До другого випадку належить кристалізація, адсорбція, іонний обмін [1]. В усіх випадках маса компонента, що переходить з твердої фази або до твердої фази, є прямо пропорційна різниці концентрацій, відповідно, коефіцієнт масовіддачі буде визначатись також цією різницею концентрацій. Ця різниця концентрацій становить рушійну силу процесу і для кожної масообмінної взаємодії характеризується своїми особливостями.

Особливості визначення рушійної сили масообміну. У процесах розчинення твердих тіл рушійною силою різниця концентрацій насичення C_s та концентрації у рідкій фазі C [3–5]. Концентрація насичення для даної температури є найвищою і знаходиться у мономолекулярному шарі біля поверхні твердої фази. Для даних умов хіміч-

ний потенціал твердого тіла та хімічний потенціал цієї речовини у приповерхневому розчині є однакові. Для багатьох твердих тіл концентрація насичення є відомою, тому для розчинення знаходження рушійної сили не становить труднощів.

У процесах *сушіння*, що відбувається у так званому першому періоді, рушійна сила визначається різницею вологовмістів на поверхні твердих частинок та у газовому середовищі. Вологовміст на поверхні твердої фази представляє собою стан насичення вологою поверхні і визначається температурою та тиском, його значення відоме [6,7].

Екстрагування з твердої фази відзначається складністю через наявність внутрішньо та зовнішньо дифузійних процесів[9,10]. Масовіддача спостерігається лише у зовнішньодифузійних процесах. Концентрація речовини у рідкій фазі підлягає зростанню завдяки внутрішньо дифузійній стадії. Процес внутрішньої дифузії описується рівнянням молекулярної дифузії з крайовими умовами та дозволяє визначити концентрацію компонента на зовнішній поверхні твердої частинки. Для частинок кулястої форми в умовах інтенсивного перемішування рідкого середовища, коли числа Біо є більшими 50, концентрація екстрагованої речовини на зовнішній поверхні C_{2n} визначається із залежності

$$\frac{C_{20} - C_{2n}}{C_{20} - C_1} = \frac{1}{1 + \sigma} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{6\sigma}{9\sigma^2 + \mu_n^2 + 9\sigma} \cdot e^{-\mu_n^2 \cdot Fo}, \quad (2)$$

де C_{20} – початкова концентрація екстрагованого компонента у твердій фазі, $кг/м^3$; C_{2n} – концентрація екстрагованого компонента на зовнішній поверхні частинки, $кг/м^3$; C_1 – концентрація екстрагованого компонента у рідкій фазі, $кг/м^3$; σ – відношення об'єму пор у твердій фазі до об'єму рідини; Fo – число Фур'є; D^* – коефіцієнт внутрішньої дифузії компонента, $м^2/с$; R – радіус частинки, $м$; t – час, $с$; μ_n – корені характеристичного рівняння.

Використовуючи залежність (2), визначається рушійна сила $(C_{2n}-C_1)$, тому що концентрація у рідині визначається експериментально.

До другої групи процесів, що описуються рівнянням (2), належать кристалізація, адсорбція, іонний обмін.

Процес *кристалізації* належить до процесів обернених до розчинення. Частки речовини у іонному виді з розчину дифундують до поверхні твердого тіла, на якому вони вбудовуються у кристал [11]. Рушійною силою кристалізації є різниця концентрацій компонента у рідині C та насичення у поверхневому шарі кристалічної речовини C_s . Концентрація у рідині повинна перевищувати концентрацію насичення $C > C_s$. Мо-ва йде про пересичення розчину, за якого можлива кристалізація. Пересичення розчину визначається аналітично, тому визначення рушійної сили не становить труднощів. Найбільш трудним є визначення рушійної сили під час дослідження зовнішньо дифузійного процесу адсорбції[12, 13].

Метою роботи було визначення рушійної сили зовнішньо дифузійного процесу адсорбції, експериментальне встановлення коефіцієнта масовіддачі та представлення кінетики адсорбції критеріальною залежністю.

Експериментальна частина та аналіз результатів. Експериментальне дослідження кінетики сорбції іонів купруму проводили на експериментальній установці з механічним перемішуванням розчину з твердим сорбентом. Через певні проміжки часу відбирались проби рідини та аналізувались на вміст іонів купруму. Кінетика адсорбції

іонів Cu^{2+} у розчині $C = f(\tau)$ в залежності від інтенсивності перемішування, представлена у [13].

Одержані кінетичні криві адсорбції міді природним цеолітом в апараті з механічним перемішуванням дозволили візуально виділити три характерні для масообміну з твердою фазою області [13]. Зовнішньодифузійна область, яку можна визначити на початку процесу від часу 0 до приблизно 30–40 с. Внутрішньодифузійна область, яка лежить в інтервалі часу більше 150–200 с. Перехідна область, у якій зовнішньодифузійний та внутрішньодифузійний механізм є порівняльним та знаходиться у часовому інтервалі 30–150 с.

Предметом даного дослідження була перша зовнішньодифузійна область та експериментальне визначення коефіцієнта масовіддачі β . Його визначення відбувається у перший період часу адсорбції. Відбувається заповнення зовнішньої поверхні адсорбента. Між концентрацією компонента на поверхні (адсорбата) та його концентрацією у мономолекулярному поверхневому шарі рідини (адсорбтива) $C_{\text{зп}}$ встановлюється рівновага, що визначається рівновагою. Для адсорбції міді природним цеолітом рівновага описується рівнянням Ленгмюра [13]

$$a^* = 0,315 \frac{0,04C}{1 + 0,04C}, \quad (3)$$

де a^* – адсорбційна здатність цеоліту, *г/г адс*.

Метою дослідження було визначення рушійної сили адсорбції. Згідно рівняння (1) рушійна сила є змінною величиною, тому що з часом зменшується концентрація у компонента у рідині та зростає на зовнішній поверхні адсорбента. Середня концентрація компонента у рідині \bar{C} за початковий проміжок часу від 0 до часу τ_1 дорівнює

$$\bar{C} = \int_0^{\tau_1} C \cdot d\tau / \tau_1. \quad (4)$$

Якщо прийняти зміну концентрації у рідині на початковій ділянці часу прямолінійною, то середня концентрація буде рівною

$$\bar{C} = C_0 - \frac{b}{2} \tau. \quad (5)$$

В області низьких концентрацій взаємодія між молекулами адсорбтива незначна, тому спостерігається лінійна залежність між концентрацією адсорбтива у об'ємній рідкій фазі C та концентрацією у рідкій фазі на поверхні адсорбента $C_{\text{зп}}$ і її описує рівняння ізотерми Генрі. Адсорбційна здатність сорбента може бути представлена залежністю $a^* = f(C)$:

$$a^* = \Gamma \cdot C_{\text{зп}}. \quad (6)$$

Виразивши рівняння (1) через середню концентрацію (5) та концентрацію на поверхні (6), одержимо:

$$\Delta M = \beta F_3 (\bar{C} - C_{3n}) = \beta F_3 (\bar{C} - \frac{a_3^*}{\Gamma}). \quad (7)$$

Експериментальне дослідження кінетики сорбції іонів купруму проводили на експериментальній установці в апараті з механічним перемішуванням. Зміна концентрації іонів Cu^{2+} у розчині $C = f(\tau)$ у залежності від інтенсивності перемішування, представлена у [13].

Експериментальні результати представлено узагальненими перемінними – критеріями подібності. Коефіцієнт масовіддачі у безрозмірній формі представляється числом Шервуда (Sh), а гідродинаміка – числом Рейнольдса (Re_M). Їхня залежність відповідає критеріальній залежності, яка справедлива у діапазоні чисел Рейнольдса 6000 – 20000.

$$Sh = 0,015 Re_M. \quad (8)$$

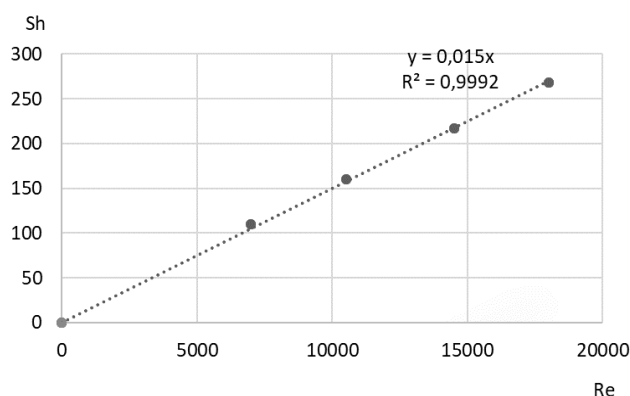


Рисунок 1 – Залежність числа Шервуда від числа Рейнольдса

Одержана прямолінійна залежність з високим ступенем достовірності ($R^2=0,9992$) описує процес і показує, що коефіцієнт масовіддачі прямо пропорційний для даного діапазону чисел Рейнольдса числу обертів перемішуючого пристрою.

Висновки

Проаналізовано методики визначення рушійної сили масообмінних процесів з твердою фазою. На прикладі адсорбції показано методику визначення рушійної сили у зовнішньодифузійній стадії адсорбції.

Література

1. Романков П.Г. Массообменные процессы химической технологи / П.Г. Романков, В.Ф.Фролов – Л.: Химия, 1990.– 384 с.
2. Натареєв С.В. Массоперенос в системе с твердым телом / С.В. Натареєв, Н.Р. Кокина, О.С. Натареєв // Теор. основы хим.технол. – 2015– т.49, №1. С. 74– 78.
3. Patil V.K. Solid – liquid mass transfer coefficients in bubble columns up to one metre diametr./ V.K. Patil, M.M. Sharma // Chem.Eng.Res.and Des.–1983.– V.61,N1. – P. 21–28.
4. Куликов Б.А. Кинетический анализ механизма растворения твердых веществ в жидкостях/ Б.А.Куликов, Е.Б.Лось, Н.В. Куликова // Вост.-Европ. журн. передовых технол.– 2005.– Т. 13.– С. 15–17.
5. Бабенко Ю.И. Влияние нестационарных эффектов на скорость растворения одиночной частицы / Бабенко Ю.И., Иванов Е.В./ Теор. основы хим. технологии. – 2013.– т.47, №6.– С. 624–629.

6. Matkivska I. Basic regularities of the filtration drying of wheat grain / I. Matkivska, V. Atamanyuk, D. Symak // East.-Europ. J. of Ent. Techn. – 2014. –Vol. 5, № 5(71). – P. 14–18.
7. Атаманюк В.М. Наукові основи фільтраційного сушіння дисперсних матеріалів/ В.М. Атаманюк, Я.М. Гумницький.–2013.– Львів: Вид. Львів. політ.– 276 с.
8. Zhen W. Ultrasonic extraction optimization of *L. Macranthoides* polysaccharides and its physicochemical properties / Wu Zhen, Li Hong, Yang Yong, Tan Hongjun. // Int. J. Biol. Macromol. – 2015.V.74, с. 224–231.
9. Wolski T. Natural products extraction with supercritical gases/ T/Wolski, A. Ludwiczuk// Przem. Chem. – 2001. – V.80,N7. – P. 286–289.
10. Гумницький Я.М. Кінетика екстрагування міді сульфату з пористих частинок / Я.М. Гумницький, В. М. Атаманюк, Д. М. Симак // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2017. – Т.4. – С. 23–28.
11. Дьяконов С.Г. Оптимизация процессов растворения и кристаллизации мелкодисперсной твердой фазы в аппаратах с перемешиванием/ Дьяконов С.Г., Елизаров В.В., Елизаров Д.В., Кириллов Д.А./ – Теор. основы хим. технологии. – 2011.– т.45, №5.– С. 529–540.
12. Sabadash V. Mechanism of phosphates sorption by zeolites depending on degree of their substitution for potassium ions. / V. Sabadash, A. Hyvlyud, Ya. Gumnitsky // Chem. & Chem. Technol. –2016. – V.10, №2.– P. 235–240.
13. Sabadash V. Kinetic appropriateness of copper ions adsorption on natural zeolite. / V. Sabadash, O. Mylanyk, O. Matsuska, J. Gumnitsky // Chem. & Chem. Technol. – 2017. – V. 11, №4. – P. 435–440.

Bibliography (transliterated)

1. Romankov P.G. Massoobmennyye protsessyi himicheskoy tehnologi / P.G. Romanov, V.F.Frolov – L.: Himiya, 1990.– 384 p.
2. Natareev S.V., Massoperenos v sisteme s tverdym telom / S.V. Natareev, N.R. Kokina, O.S. Natareev, //Teor. osnovyi him.tehnol. – 2015– т.49, #1. P. 74– 78.
3. Patil V.K. Solid – liquid mass transfer coefficients in bubble columns up to one metre diametr./ V.K. Patil, M.M. Sharma // Chem.Eng.Res.and Des.–1983.– V.61,N1. – P. 21–28.
4. Kulikov B.A. Kineticheskiy analiz mehanizma rastvoreniya tverdyih veschestv v zhidkostyah/ B.A. Kulikov, E.B. Los, N.V. Kulikova // Vost.-Evrop. zhurn. peredovyih tehnol.– 2005.– Т. 13.– P. 15–17.
5. Babenko Yu.I. Vliyanie nestatsionarnyih effektov na skorost rastvoreniya odinochnoy chastitsyi / Babenko Yu.I., Ivanov E.V./ Teor. osnovyi him. tehnologii. – 2013.– т.47, #6.– P. 624–629.
6. Matkivska I. Basic regularities of the filtration drying of wheat grain / I. Matkivska, V. Atamanyuk, D. Symak // East.-Europ. J. of Ent. Techn. – 2014. –Vol. 5, # 5(71). – P. 14–18.
7. Atamanyuk V.M. Naukovi osnovi filtratsiynogo sushinnya dispersnih materialiv/ V.M. Atamanyuk, Ya.M. Gumnitskiy.–2013.–Lviv: Vid. Lviv. polit.– 276 p.

8. Zhen W. Ultrasonic extraction optimization of *L. Macranthoides* polysaccharides and its physicochemical properties / Wu Zhen, Li Hong, Yang Yong, Tan Hongjun. // *Int. J. Biol. Macromol.* – 2015. V.74, p. 224–231.
9. Wolski T. Natural products extraction with supercritical gases/ T/Wolski, A. Ludwiczuk// *Przem. Chem.* – 2001. – V.80,N7. – P. 286–289.
10. Gumnitskiy Ya.M. Kinetika ekstraguвання mIdI sulfatu z poristih chastinok / Ya.M. Gumnitskiy, V. M. Atamanyuk, D. M. Simak // *Integrovani tehnologiyi ta energozberezheniya.* – 2017. – T.4. – P. 23–28.
11. Dyakonov S.G. Optimizatsiya protsessov rastvoreniya i kristallizatsii melkodispersnoy tverdoy fazyi v apparatah s peremeshivaniem/ Dyakonov S.G., Elizarov V.V., Elizarov D.V., Kirillov D.A./ – *Teor. osnovyi him. tehnologii.* – 2011. – t.45, #5. – P. 529–540.
12. Sabadash V. Mechanism of phosphates sorption by zeolites depending on degree of their substitution for potassium ions. / V. Sabadash, A. Hyvlyud, Ya. Gumnitsky // *Chem. & Chem. Technol.* – 2016. – V.10, #2. – P. 235–240.
13. Sabadash V. Kinetic appropriateness of copper ions adsorption on natural zeolite. / V. Sabadash, O. Mylanyk, O. Matsuska, J. Gumnitsky // *Chem. & Chem. Technol.* – 2017. – V. 11, #4. – P. 435–440.

УДК 66.061

Гумницький Я.М., Симак Д.М., Сабадаш В.В., Атаманюк В.М.

ЗОВНІШНЬО ДИФУЗІЙНА КІНЕТИКА МАСООБМІНУ. ОСОБЛИВОСТІ КІНЕТИКИ АДСОРБЦІЇ

Проаналізовано зовнішньодифузійну стадію масообміну у системах з твердою фазою. Наведено рівняння зовнішньодифузійної кінетики для транспорту маси з об'єму рідини до поверхні твердої фази (кристалізація, адсорбція, іонний об'єм) та з поверхні твердої речовини до рідини (розчинення, екстрагування, сушіння, десорбція). У кожному випадку масовий потік визначається різницею концентрацій на поверхні твердої фази та у рідині, що становить рушійні сили для проаналізованих процесів. Показано, що рушійні сили є змінними у процесі масообміну. Досліджено зовнішньодифузійну кінетику адсорбції іонів купруму природним цеолітом в апараті з механічним перемішуванням. Одержано криві кінетики адсорбції за різних чисел обертів мішалки. Представлено рівняння ізотерми адсорбції Ленгмюра та визначено адсорбційну здатність для області низьких концентрацій лінійним рівнянням Генрі. Рушійна сила адсорбції визначається різницею концентрацій у рідкій фазі та у приповерхневому шарі адсорбента, які є змінними у часі величинами. Трудність визначення приповерхневої концентрації полягає у тому, що ця концентрація визначається адсорбційною здатністю адсорбенту, а також залежить від проникнення іонів купруму у внутрішню структуру адсорбенту. Подано експериментально одержані зміни концентрації іонів купруму у рідині та на їх основі визначено коефіцієнти масовіддачі. Експериментальні результати узагальнено за допомогою безрозмірних комплексів критеріїв подібності Рейнольдса та Шервуда та

представлено графічну інтерпретацію експериментальних результатів. Одержана прямолінійна залежність $Sh = 0,015 Re_m$ з високим ступенем достовірності ($R^2 = 0,9992$) описує процес зовнішньодифузійної стадії адсорбції і показує, що коефіцієнт масовіддачі прямо пропорційний для діапазону чисел Рейнольдса 6000–20000 числу обертів перемішуючого пристрою. Одержана критеріальна залежність корелюється з аналогічними залежностями для зовнішньодифузійних процесів розчинення, яка проводиться в апаратах з механічними перемішувачами.

Ключові слова: масообмін, іони купруму, зовнішньодифузійна кінетика, адсорбція, ізотерма адсорбції, рушійна сила.

Гумницький Я.М., Сымак Д.М., Сабадаш В.В., Атаманюк В.М.

ВНЕШНЕДИФФУЗИОННАЯ КИНЕТИКА МАССООБМЕНА. ОСОБЕННОСТИ КИНЕТИКИ АДСОРБЦИИ

Проанализировано внешнедиффузионную стадию массообмена в системах с твердой фазой. Представлено уравнения внешнедиффузионной кинетики для транспорта массы с объема жидкости к поверхности твердой фазы (кристаллизация, адсорбция, ионный обмен) и с поверхности твердого вещества к жидкости (растворение, экстрагирование, сушка, десорбция). В каждом случае массовой поток определяется разностью концентраций на поверхности твердой фазы и у жидкости, что является движущими силами для проанализированных процессов. Показано, что движущие силы являются переменными в процессе массообмена. Исследовано внешнедиффузионную кинетику адсорбции ионов купруму природным цеолитом в аппарате с механическим перемешиванием. Получены кривые кинетики адсорбции при разных числах оборотов мешалки. Представлено уравнение изотермы адсорбции Ленгмюра и определено адсорбционную способность для области низких концентраций купруму линейным уравнением Генри. Движущая сила адсорбции определяется разностью концентраций купруму в жидкой фазе и в поверхностном слое адсорбента, которые являются изменяющимися во времени величинами. Трудность определения поверхностной концентрации заключается в том, что концентрация определяется адсорбционной способностью адсорбента, а также зависит от проникновения ионов купруму во внутреннюю структуру адсорбента. Представлено экспериментально полученные изменения концентрации ионов купруму в жидкости и на этой основе определены коэффициенты массоотдачи. Опытные результаты обобщены при помощи безразмерных комплексов – критериев подобия Рейнольдса и Шервуда. Представлено графическую интерпретацию опытных результатов. Получено линейную зависимость $Sh = 0,015 Re_m$ с высокой достоверностью ($R^2 = 0,9992$), которая описывает процесс внешнедиффузионной стадии адсорбции пропорционален числу оборотов механического перемешивающего устройства в диапазоне чисел Рейнольдса 6000–20000. Полученная критеріальна залежність корелюється з аналогічними залежностями для внешнедиффузионных процессов растворения, которые осуществляются в аппаратах с механическими перемешивающими устройствами.

Ключовые слова: массообмен, ионы купрума, внешнедиффузионная кинетика, адсорбция, изотерма адсорбции, движущая сила.

Gumnitsky Y.M., Symak D.M., Sabadash V.V., Atamanyuk V.M.

EXTERNAL DIFFUSION KINETICS OF MASS TRANSFER. FEATURES OF KINETICS OF ADSORPTION

The external diffusion stage of mass transfer in systems with a solid phase was analyzed. The equations of external diffusion kinetics are presented for mass transport from the volume of a liquid to the surface of a solid phase (crystallization, adsorption, ion exchange) and from the surface of a solid to a liquid (dissolution, extraction, drying, desorption). In each case, the mass flow is determined by the difference in concentrations on the surface of the solid phase and the liquid, which is the driving force for the analyzed processes. It is shown that the driving forces are variable in the process of mass transfer. The external diffusion kinetics of the adsorption of cuprum ions by natural zeolite in an apparatus with mechanical stirring was studied. The curves of the kinetics of adsorption at different numbers of revolutions of the mixer were obtained. The Langmuir adsorption isotherm equation was presented and the adsorption capacity for the low concentration region of cuprum is determined by the linear Henry equation. The driving force of adsorption was determined by the difference in the concentration of cuprum in the liquid phase and in the surface layer of the adsorbent, which were time-varying quantities. The difficulty in determining the surface concentration lies in the fact that the concentration was determined by the adsorption capacity of the adsorbent, and also depends on the penetration of cuprum ions into the internal structure of the adsorbent. Experimentally obtained changes in the concentration of cuprum ions in a liquid were presented, and mass transfer coefficients are determined on this basis. The experimental results were summarized using dimensionless complexes – criteria for the similarity of Reynolds and Sherwood. A graphical interpretation of the experimental results was presented. A linear dependence $Sh = 0.015 Re_m$ was obtained with high reliability ($R^2 = 0.9992$), which describes the process of the external diffusion adsorption stage was proportional to the number of revolutions of the mechanical mixing device in the range of Reynolds numbers 6000–20000. The obtained criterial dependence correlates with similar dependences for external diffusion dissolution processes, which were carried out in devices with mechanical mixing devices.

Keywords: mass transfer, cuprum ions, external diffusion kinetics, adsorption, adsorption isotherm, driving force.

Перевалов Л.І.², к.техн.н., професор, Фадєєв Л.В.¹, к.техн.н., доцент, Півень О.М.², к.техн.н., професор, Тимченко В.К.², к.техн.н., професор, Дьяченко М.В.², магістр

ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОБРУШУВАННЯ НАСІННЯ СОНЯШНИКУ КОНДИТЕРСЬКОГО СОРТУ

¹ТОВ «Завод «Фадєєв Агро», м. Харків, Україна,

²Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Ключові слова: насіння соняшнику, кондитерський сорт, обрушування, технологічні фактори, нові закономірності, ефективні технологічні рішення.

Вступ. Безлушпинне ядро насіння соняшнику є відносно новим харчовим продуктом, який виробляє олійножирова галузь. Цей продукт поступово захоплює нові сегменти вітчизняного ринку, оскільки може використовуватись не тільки для безпосереднього вживання у їжу, але й як компонент інших харчових продуктів: кондитерських виробів (халва, казінаки), м'ясних фаршів, білкового борошна, майонеза і т. ін. Доцільно відмітити, що значна частина безлушпинного ядра є предметом експорту України [1,2].

Сфери використання безлушпинного ядра соняшнику постійно розширюються і одночасно видозмінюються вимоги щодо структурно-механічних властивостей обрушеного насіння, які часто мають специфічний характер. Так, деякі споживачі потребують не тільки високого ступеню обрушування, мінімального вмісту січки, але й високого вмісту цілого незруйнованого ядра (так званого «ядра з носиком»). Такі вимоги не може задовільнити класична технологія обрушування насіння соняшнику, оскільки вона вирішує іншу задачу підготовки насіння до вилучення олії.

Таким чином, розробка нових науково обґрунтованих технологічних прийомів обрушування насіння соняшнику, спрямованих на збільшення виходу ядрової фракції (суміші ядра та січки) цілого ядра та збереження його морфологічної цілісності є актуальним науковим завданням, яке вирішує це дослідження [4].

Аналіз стану проблеми. У промислових умовах під час обрушування насіння сучасних високоолійних і кондитерських сортів, а також гібридів насіння соняшнику визначальними параметрами процесу вважають вологість насіння і швидкість обертання ротору насіннерушки, яка регулює силу удару насінин об деку.

Вологість насіння зазвичай підтримують на рівні 6,0...7,0 %, при цьому за умови рівноважного розподілу вологи вологість лушпиння складає 11,0...12,0 %, а ядра – 4,0...5,0 %. Дослідники вважають, що саме вологість є основним фактором, який регулює міцність. Крихкість і пластичність лушпиння і ядра, а її оптимальне значення забезпечує ступінь обрушування на рівні 80,0...85,0 % за умови виходу 25,0...40,0 % цілого ядра.

Основний принцип регулювання процесу обрушування за рахунок параметру вологості можна сформулювати так: «Зробити так, щоб лушпиння (за рахунок втрати вологи) стало крихким і легко обрушувалось, а ядро із залишковою вологістю залишалось достатньо пластичним і не руйнувалось під час удару» [3].

Намагання вирішити проблему підвищення ступеню обрушування шляхом регулювання параметру вологості продовжується дотепер. Основна ідея полягає в тому, щоб підсушити лушпиння до стану, який забезпечує 100%-ве обрушування насіння настільки швидко, щоб ядро не встигло втратити вологу і залишилось достатньо пластичним.

Відомо, що швидке висушування лушпиння забезпечується у сушарках киплячого шару, за допомогою інфрачервоного випромінювання та іншими способами [10, 6].

Найбільш вдалим прикладом вирішення проблеми є спосіб обрушування крупної фракції кондитерського насіння (більше 3,6 мм за товщиною), запропонований Іхно М.П. [5, 7], за яким ефект 100 %-вого обрушування досягається за рахунок швидкого (5...10 хв.) підсушування насіння до вологості 3,5 %, швидкого охолодження атмосферним повітрям і миттєвого обрушування.

Дрібне кондитерське насіння, а також дрібне насіння сучасних високоолійних сортів і гібридів соняшнику якісно обрушувати таким способом не вдається.

Останнім часом у вирішенні зазначеної вище проблеми з'явилось принципово інше спрямування. Його сутність полягає в тому, щоб за умови наявності адсорбційної вологи насіння змінити її здатність впливати на пружно-пластичні властивості насіння і ядра під час обрушування.

Найпростішим способом досягнення такого стану є заморожування насіння, яке зберігає вологу, але докорінно змінює її вплив на пружно – пластичні властивості матеріалу. Ця ідея у загальному вигляді простежується у дослідженнях [8, 9] і стосується або простої констатації факту, або вирішення окремих питань переробки соняшнику.

Ґрунтовні дослідження щодо впливу заморожування насіння соняшнику на показники його обрушування, які проведено на кафедрі технології жирів та продуктів бродіння НТУ «ХП», створили наукове підґрунття нової технології обрушування насіння у замороженому стані [11, 12]. Цей спосіб дозволяє вирішити ряд нових задач, що виникають під час обрушування дрібного насіння, а саме: збільшення виходу цілого ядра, скорочення виходу січки та олійного пилу та ін.

Ще одним фактором, що суттєво впливає на якість обрушування, але дотепер залишався поза увагою дослідників, можна назвати орієнтаційний фактор. Спеціалісти вважають [14], що якість обрушування залежить від положення насінини в момент удару об деку насіннерушки: тільки тупим кінцем, тільки гострим або таким, який об'єднує обидва положення.

Основною причиною, яка пояснює нестачу уваги до зазначеного фактору була відсутність насіннерушки, конструкція якої могла б забезпечити орієнтований удар насінин об деку. Останнім часом такі конструкції насіннерушок з'явилися. Варто відмітити відцентрову насіннерушку «Ласко», яка забезпечує обрушування насіння завдяки удару тільки тупим кінцем [15], і насіннерушку зі вбудованим пристроєм, який реалізує удар тільки гострим кінцем [16].

Таким чином, для реалізації сучасних можливостей управління процесом обрушування доцільно враховувати вплив щонайменше чотирьох факторів: N – фактору (швидкість обертання ротору насіннерушки); W– фактору (вологість насіння); T – фактору (температура обрушування насіння) та O_r – фактору (орієнтація насіння в момент удару об деку насіннерушки).

Мета та задачі дослідження. Метою цього дослідження є вивчення закономірностей впливу комплексу сучасних факторів на процес обрушування фракції дрібного кондитерського насіння та визначення ефективних технологічних параметрів, що за-

безпечують максимальний вихід ядрової фракції і максимальний вихід незруйнованого цілого ядра «з носиком».

У відповідності з поставленою метою вирішувались наступні задачі:

- визначення технологічних властивостей дрібної фракції кондитерського насіння сорту Лакомка;
- вивчення закономірностей впливу сучасних факторів (N, W, T та O_r) на процес обрушування цієї фракції кондитерського насіння;
- визначення раціональних технологічних параметрів процесу обрушування, які забезпечують максимальний вихід ядрової фракції та максимальний вихід незруйнованого цілого ядра.

Методична частина. Об'єктом дослідження вибрано дрібну фракцію кондитерського насіння сорту Лакомка (3,2...3,4 мм за товщиною).

За стандартними методиками, що прийняті у олійно-жировій галузі [17], визначено основні технологічні властивості: вологість, вміст ядра та лушпиння, масу 1000 насіння. В табл. 1 представлено значення цих показників.

Таблиця 1 – Технологічні показники насіння кондитерського сорту Лакомка

Номер досліджу	Вміст води, %			Склад насіння, %		Маса 1000 шт. насіння
	Насіння	Лушпиння	Ядра	Вміст лушпиння	Вміст ядра	
1	5,90	8,66	3,52	29,85	70,15	63,52
2	5,83	8,73	3,61	29,01	70,99	64,12
Середнє значення	5,87	8,70	3,57	29,43	70,57	63,82

Під час виконання основних досліджень сплановано три серії експериментів у 2-х паралелях з метою вивчення впливу вибраних факторів на склад рушанки і параметри обрушування. У кожній з трьох серій вивчали вплив однієї з трьох складових орієнтаційного фактору (O_r), які різняться за характером удару насіння об деку насіннерушки (гострим, тупим кінцем або випадковим, який поєднує обидва положення насінини) [14]. Інші три фактори у кожній серії вирівнювались у двох рівнях: N – фактор (15,0 і 18,33 c^{-1}); W – фактор (1,5 і 7,0 %); T – фактор (+20 °C і -20 °C). Вибір рівнів варіювання значень факторів чинився на підставі раніше виконаних досліджень [13].

Обрушування насіння здійснювали за допомогою відцентрової «Насіннерушки-2 Іхно», яка дозволяє обрушувати насіння шляхом однократного удару кожної насінини. Розподіл насіння за видом орієнтації окремих насінин під час удару приймали як статистичний, що передбачає однакоvu вірогідність удару гострим або тупим кінцем.

Для забезпечення точної орієнтації насінин під час удару об деку у середню частину ротору насіннерушки –2 Іхно було вбудовано спеціальну насадку із вигнутою трубкою, яка спрямовує насінину в один з каналів ротору, який обертається, і не дозволяє їй змінити орієнтацію до моменту удару.

Для забезпечення температури мінус 20 °C під час обрушування було улаштовано спеціальну камеру, в якій як холодоагент використовували очищене силікагелем повітря, охолоджене в середовищі зрідженого азоту.

Для характеристики якості обрушування вибрано наступні показники: вміст компонентів рушанки, коефіцієнт обрушування (K_o) і коефіцієнт збереження ядра

($K_{зб.я}$), а також вихід ядрової фракції – $V_{яф}$, % (суміш ядра та січки) і вихід незруйнованого цілого ядра – $V_{нця}$, %.

Відповідно до мети і задач дослідження були зроблені дві групи показників для роздільного визначення впливу факторів: на вихід ядрової фракції (показники K_o і $V_{яф}$, %), та на вихід незруйнованого цілого ядра з носиком (показники $K_{зб.я}$ і $V_{нця}$, %). Ці показники мають вагоме значення при визначенні раціональних умов одержання рослинної олії і белку, а також для одержання високоякісного кондитерського ядра. Зазначені характеристики визначали за типовими методиками і розрахунками, наведеними у [17].

Викладення основного матеріалу досліджень. Експериментальні дослідження з обрушення насіння соняшнику кондитерського сорту Лакомка здійснено в трьох планових експериментах за умови зміни всіх факторів, що впливають на процес обрушування. В таблицях 2–4 наведено склади рушанок (в % мас), які одержано за однакових умов зміни вологості, температури та швидкості обертання ротору, але за різної орієнтації насінин в момент удару об деку насіннерушки.

У таблицях 2–4, 5, 7 наведено:

- вихід компонентів рушанки в % мас;
- вихід ядра – як сума цілого непошкодженого ядра «з носиком» (з Н) та частково пошкодженого ядра «без носика» (без Н);

Жирним шрифтом виділені значення з найбільш важливими даними, з максимальними або близькими до них значеннями показників.

Таблиця 2 – Вплив Т – , N – та W – факторів на склад рушанки при випадковому ударі насінини об деку

Т, °С	–20,00				+20,00			
	15,00		18,33		15,00		18,33	
N, с ⁻¹	1,50	7,00	1,50	7,00	1,50	7,00	1,50	7,00
1. Пил	1,65	1,41	3,38	2,56	4,50	2,23	9,22	5,51
2. Ядро	40,24	24,17	50,38	37,38	34,19	22,80	26,95	25,73
2.1 Ядро без Н	7,02	2,35	14,21	6,40	8,72	3,92	10,42	8,74
2.2 Ядро з Н	33,22	21,82	36,17	30,98	25,47	18,88	16,53	16,99
3. Січка	8,50	2,60	14,99	8,32	19,13	9,63	29,37	20,95
4. Недоруш	7,01	16,49	2,41	13,75	5,85	17,10	5,01	14,19
5. Ціляк	22,09	42,16	2,93	17,33	12,52	31,91	3,14	11,90
6. Лушпиння	20,51	13,18	25,91	20,66	23,83	16,33	26,32	21,74

Таблиця 3 – Вплив Т – , N – та W – факторів на склад рушанки при ударі насінини об деку гострим кінцем

Т, °С	–20,00				+20,00			
	15,00		18,33		15,00		18,33	
N, с ⁻¹	1,50	7,00	1,50	7,00	1,50	7,00	1,50	7,00
1. Пил	1,30	0,85	3,22	2,07	2,28	0,99	5,29	2,51
2. Ядро	35,01	16,74	45,85	35,23	26,83	13,02	33,31	24,85
2.1 Ядро без Н	6,06	2,91	16,03	5,19	6,21	1,49	12,16	4,60
2.2 Ядро з Н	28,95	13,83	29,82	30,04	20,62	11,53	21,15	20,25
3. Січка	5,64	2,14	13,68	5,71	7,98	2,67	20,85	7,28
4. Недоруш	8,23	11,88	4,13	14,68	8,06	10,26	6,62	15,61
5. Ціляк	32,39	59,52	7,68	22,65	38,11	64,89	8,85	33,16
6. Лушпиння	17,42	8,86	25,43	19,67	16,76	8,18	25,09	16,60

Таблиця 4 – Вплив T – , N – та W – факторів на склад рушанки при ударі насінни об деку тупим кінцем

$T, ^\circ\text{C}$	– 20				+20,00			
	15,00		18,33		15,00		18,33	
N, c^{-1}	1,50	7,00	1,50	7,00	1,50	7,00	1,50	7,00
$W, \%$	1,50	7,00	1,50	7,00	1,50	7,00	1,50	7,00
1. Пил	2,86	1,79	5,27	3,81	4,65	1,58	7,03	4,13
2. Ядро	44,75	33,97	44,05	42,46	34,63	23,81	37,44	32,93
2.1 Ядро без Н	9,45	4,77	15,47	9,24	10,37	3,49	12,44	7,33
2.2 Ядро з Н	35,30	29,20	28,58	33,22	24,26	20,32	25,00	25,60
3. Січка	10,59	3,34	18,11	7,75	12,49	3,64	19,30	8,39
4. Недоруш	7,32	20,07	3,90	15,02	10,16	18,66	7,97	17,16
5. Ціляк	9,65	22,40	3,25	8,78	15,69	37,75	3,00	17,31
6. Лушпиння	24,84	18,43	25,43	22,18	22,38	14,57	25,26	20,07

Аналіз даних, наведених у табл. 2–4, виявив, що якість обрушування (вихід ядра та непошкодженого ядра з Н) суттєво залежить від величини діючого фактору. Вихід цілого ядра та вихід непошкодженого ядра збільшується:

- при зменшенні температури від $+20\text{ }^\circ\text{C}$ до $-20\text{ }^\circ\text{C}$;
- при збільшенні швидкості обертання ротору від 15,00 до 18,33 c^{-1} ;
- при зменшенні вологості насіння від 7,0 до 1,5 %.

Вплив факторів на коефіцієнт обрушування і вихід ядрової фракції наведено у табл. 5.

Аналіз даних таблиці 5 підтверджує загальні висновки щодо впливу T – , N – , W – та O_r – факторів на показники обрушування. Додатково виявлено, що ефективність дії O_r – фактору за умови випадкового удару та удару тупим кінцем є приблизно однаковою.

Таблиця 5 – Вплив T – , N – , W – та O_r – факторів на коефіцієнт обрушування і вихід ядрової фракції

$T, ^\circ\text{C}$	–20,00				+20,00			
	15,00		18,33		15,00		18,33	
N, c^{-1}	1,50	7,00	1,50	7,00	1,50	7,00	1,50	7,00
$W, \%$	1,50	7,00	1,50	7,00	1,50	7,00	1,50	7,00
Вид удару	Коефіцієнт обрушування, K_o							
Випадковий	0,72	0,44	0,95	0,72	0,83	0,54	0,93	0,77
Гострим кінцем	0,61	0,31	0,89	0,65	0,55	0,27	0,86	0,54
Тупим кінцем	0,84	0,61	0,94	0,79	0,76	0,47	0,90	0,69
Середнє значення між орієнтованими ударами								
Значення	0,73	0,46	0,92	0,72	0,66	0,37	0,88	0,62
Вид удару	Вихід ядрової фракції $V_{яф}, \%$ від потенціалу							
Випадковий	68,94	37,87	92,46	64,64	75,42	45,87	79,66	66,02
Гострим кінцем	57,50	26,71	84,20	57,91	49,24	22,20	76,60	45,45
Тупим кінцем	78,28	52,77	87,93	71,02	66,65	38,83	80,26	58,45
Середнє значення між орієнтованими ударами								
Значення	67,89	39,74	86,07	64,47	57,95	30,52	78,43	51,95

Вплив W – фактору для кожного значення N – і T – факторів визначено за збільшенням (%) середніх значень між орієнтованими ударами показників K_o і $V_{яф}$ при зниженні вологості з 7,0 до 1,5 %, а потім оцінена інтенсивність цього впливу для різних значень N – фактору при зниженні температури обрушування. Розрахунки приведені в таблиці 6.

Таблиця 6 – Оцінка впливу W – фактору на середні значення між орієнтованими ударами показників K_o і V_{яф}

T, °C	-20				+20			
N, c ⁻¹	15,0		18,33		15,0		18,33	
W, %	1,5	7,0	1,5	7,0	1,5	7,0	1,5	7,0
Середні значення K _o між орієнтованими ударами								
	0,72	0,46	0,92	0,72	0,66	0,37	0,88	0,62
Визначення (%) збільшення K _o при зниженні вологи W								
	100 - (0,46/0,72) · 100 = 36,2		100 - (0,72/0,92) · 100 = 22,8		100 - (0,37/0,66) · 100 = 44,0		100 - (0,62/0,88) · 100 = 29,5	
Середні значення V _{яф} між орієнтованими ударами								
	67,89	39,74	86,07	64,47	57,95	30,52	78,43	51,95
Визначення (%) збільшення V _{яф} при зниженні вологи W								
	100 - (39,74/67,89) · 100 = 41,5		100 - (64,47/86,07) · 100 = 26,0		100 - (30,52/57,95) · 100 = 47,4		100 - (51,95/78,43) · 100 = 33,8	

Результати розрахунків показують, з одного боку, що зниження вологості від 7,0 до 1,5 % суттєво збільшує середні значення між орієнтованими ударами показників K_o від 22,8 до 44,0 % і V_{яф} від 30,52 до 86,07 %, а з другого боку – що інтенсивність цього впливу (при однакових обертах ротору насіннерушки) знижується при зниженні температури: для N= 18,33 c⁻¹ – від 29,5 до 22,8 % і при N= 15,0 c⁻¹ – від 44,0 до 36,2 %.

Особливості дії W- фактору на параметри обрушування насіння є доказом того, що адсорбційна волога насіння під час охолодження до мінусових температур зменшує свій вплив на пружно-пластичні властивості оболонки насіння, зокрема на її крихкість. Цей факт дозволяє розширити теоретичні погляди на особливості обрушування насіння соняшнику в замороженому стані.

На підставі проведеного аналізу визначено умови одержання максимального виходу ядрової фракції, який досягається за температури мінус 20 °C, низькій вологості насіння і максимальній швидкості обертання ротору насіннерушки за умови забезпечення випадкового удару або удару тупим кінцем насіння.

Доцільно відмітити, що достатніми для практичних цілей є також показники обрушування (K_o і V_{яф}), які досягаються і при температурі + 20 °C за умови низької вологості і максимальної швидкості обертання ротору.

Тому, для виробництва олії та білка з обрушеного насіння можна запропонувати два варіанта раціональних технологічних параметрів обрушування, доцільність реалізації яких залежить від технічних можливостей підприємства та економічної доцільності.

В табл. 7 представлено такі варіанти раціональних технологічних параметрів обрушування насіння соняшнику з метою одержання олії та білка.

Таблиця 7 – Раціональні умови обрушування насіння для одержання олії та білка

Фактор обрушування	Раціональні технологічні параметри і показники обрушування			
	1 варіант		2 варіант	
	Значення факторів	Показники обрушування	Значення факторів	Показники обрушування
T – фактор, °C	- 20,0	V _{яф} = 86...92 % K _o = 0,92...0,95	+ 20,0	V _{яф} = 78...80% K _o = 88...93
N – фактор, c ⁻¹	18,33		18,33	
W – фактор, %	1,5		1,5	
O _r – фактор	Випадковий удар або удар тупим кінцем			

Для одержання з обрушеного насіння кондитерського ядра високої якості важливими є показники виходу цілого ядра та збереження його морфологічної цілосності («ядро з носиком»). Для визначення раціональних технологічних параметрів, які забезпечують достатні для практичних цілей показники кондитерського ядра за даними табл. 1–4 розраховано коефіцієнт збереження ядра ($K_{зб.я}$) та вихід непошкодженого цілого ядра ($V_{нця}$, %) від потенціалу ядра (70,57 %, табл. 1). Одержані розрахункові дані представлено в табл. 8.

Таблиця 8 – Вплив T -, N -, W - та O_r - факторів на коефіцієнт збереження ядра і вихід непошкодженого цілого ядра

$T, ^\circ C$	-20,00				+ 20,00			
N, c^{-1}	15,00		18,33		15,00		18,33	
$W, \%$	1,50	7,00	1,50	7,00	1,50	7,00	1,50	7,00
Вид удару	Коефіцієнти збереження, $K_{зб.я}$							
Випадковий	0,80	0,83	0,75	0,77	0,59	0,63	0,42	0,49
Гострим кінцем	0,84	0,83	0,74	0,80	0,70	0,74	0,56	0,69
Тупим кінцем	0,76	0,84	0,67	0,79	0,66	0,77	0,60	0,71
Середнє значення між орієнтованими ударами								
Значення	0,80	0,84	0,71	0,80	0,68	0,76	0,58	0,70
Вид удару	Вихід цілого непошкодженого ядра $V_{нця}$, % від потенціалу							
Випадковий	46,99	30,86	51,16	43,82	36,03	26,70	23,38	24,03
Гострим кінцем	40,95	19,56	42,18	42,49	29,17	16,31	29,92	28,64
Тупим кінцем	49,93	41,30	40,42	46,99	34,31	28,74	35,36	36,21
Середнє значення між орієнтованими ударами								
Значення	45,44	30,43	41,30	44,74	31,74	22,53	32,64	32,43

Детальний аналіз даних табл. 8 виявив деякі закономірності. А саме:

– найбільший вплив на розрахункові показники обрушування має T - фактор, що видно по змінненню середніх значень показників $K_{зб.я}$ і $V_{нця}$, % між орієнтованими ударами в залежності від температури обрушування. При зниженні температури від 20 до $-20\ ^\circ C$ $K_{зб.я}$ збільшився від 0,68 до 0,79, тобто на 12 %, а $V_{нця}$ – від 29,80 до 40,41 %, тобто на 27 %;

– при $20\ ^\circ C$ максимальне значення $K_{зб.я} = 0,77$ спостерігається при низьких обертах ротору $N = 15,00\ c^{-1}$ і вологості $W = 7,0\%$, що відповідає відомим закономірностям;

– при температурі $-20\ ^\circ C$ закономірності впливу N – і W – факторів на показники $K_{зб.я}$ і $V_{нця}$ більш складні і недостатньо вивчені, оскільки при заморожуванні головною властивістю ядра, що визначає його стійкість при руйнуванні, стає його міцність, яка збільшується при підвищенні вологості. Тому, максимальні та близькі до них значення $K_{зб.я}$ (0,84 і 0,80) спостерігаються при вологості насіння 7,0 % і обертах ротору 15,00 і 18,33 c^{-1} . В той же час, максимальний вихід цілого ядра з носиком (45,44 %) спостерігається при $N = 15,00\ c^{-1}$ і $W = 1,5\%$;

– у більшості розглянутих випадків удар тупим кінцем (вплив O_r – фактора) є більш ефективним, ніж удар гострим кінцем відносно показників $K_{зб.я}$ і $V_{нця}$;

– найбільші значення $K_{зб.я}$ і $V_{нця}$ сподостерегаються в умовах вологості 7,0 % і температурі $-20\ ^\circ C$.

В цілому, близькі за величиною коефіцієнти збереження ядра і вихід цілого незруйнованого можна одержати за двома варіантами технологічних параметрів, які можна рекомендувати як раціональні для одержання кондитерського ядра насіння соняшника. Результати аналізу наведено у табл. 9.

Таблиця 9 – Раціональні умови обрушування насіння для одержання кондитерського ядра

Фактор обрушування	Раціональні технологічні параметри і показники обрушування			
	1 варіант		2 варіант	
	Значення факторів	Показники обрушування	Значення факторів	Показники обрушування
T– фактор, °C	-20,0	K _{зб.я} = 0,84 B _{нця} = 45,4 %	-20,0	K _{зб.я} = 0,80 B _{нця} = 44,7 % суттєво
N– фактор, с ⁻¹	15,0		18,33	
W– фактор, %	1,5		7,0	
O _r – фактор	випадковий та удар тупим кінцем		випадковий, гострим та тупим кінцем	

Висновки. Комплекс виконаних теоретичних та експериментальних досліджень дозволяє зробити наступні висновки.

1. Набуло подальшого розвитку теоретичне уявлення щодо механізму впливу технологічних факторів на ефективність обрушування насіння соняшнику.

2. Вперше показано, що O_r– фактор, який враховує положення насінини в момент удару об деку насіннерушки суттєво впливає на показники обрушування дрібної фракції насіння кондитерського сорту.

3. Вперше експериментально доведено, що за умови дії мінусових температур знижується ефективність впливу адсорбційної вологи на пружно-пластичні властивості оболонки насіння.

4. Визначено раціональні технологічні параметри обрушування дрібної фракції кондитерського сорту соняшника для практичної реалізації в технологіях видобування рослинної олії та білка, а також одержання високоякісного кондитерського ядра.

Література

1. Тесленко С.О. Безлушпинне ядро соняшнику для отримання кондитерських виробів /С.О. Тесленко, Л.І. Перевалов, Г.В. Садовничий //Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі. – Харків: ХДУХТ, 2013. – Вип. 2 (18). – С. 84–91.

2. Іхно Микола Петрович. Науково-практичні основи отримання тавикористання харчового безлушпинного ядра соняшника: дис. на здобуття наук. ступ. д-ра техн. наук: 05.18.6 /Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут». – Харків, 2004.

3.Технология производства растительных масел: учебник /Л.А. Мхитарьянц, Е.П. Корнена [и др.]; под общей редакцией Е.П. Корненой. – Сб: ГИОРД, 2009. –352 с.

4. КупченкоА. Добре обрушення насіння соняшнику – запорука якості кінцевої продукції / А.Купченко //Олійно-жировий комплекс. – 2007. – № 5.

5. Пат. 27009 Україна, МПКА1/36,С11В 1/04, Спосіб одержання ядра соняшни-

кового насіння / Ихно Н.П.; Заявник та патентовласник Ихно Микола Петрович. № 95114827; заявл.09.11.1995; опубл.28.02.2000; Бюл. № 1.

6. Фролов Руслан Николаевич. Совершенствование процесса обрушивания семян подсолнечника с применением при подготовке инфракрасного облучения: дисс. Кандидата технических наук 05.18.12 – Процессы и аппараты пищевых производств. Краснодар. – 2002. – 123 с.

7. Ихно Н.П. Теория и практика получения низколузгового яра подсолнечника /Н.П. Ихно //Масложировая промышленность. – 1999. – № 3. – С.19–21.

8. Legraux Andre, Sury-en-Brie, Process for embrittling integuments of small seeds.U.S.Pat. 4.090.669.May 25, 1978.

9. Фют А.К. Совершенствование технологии и оборудования подготовительных процессов переработки семян подсолнечника /А.К. Фют, В.В. Ключкин //М.: АгроНИИТЭИПП. 1990.– Серия 20. – Вып. 5. – 32 с.

10. Кучеренко А.В. Огляд і класифікація способів підготовки насіння соняшнику до обрушування /А.В. Кучеренко, Т.І. Мелехова // Хранение и переработка зерна. – 2001. – Т. 22. – №4. – С. 35–38.

11. Пат. 1142005 Україна, МПК (2017.01), С11В 1/02 (2006.01), В02В 3/00. Спосіб обрушування соняшникового насіння /Перевалов Л.І., Попсуйшапка А.В., Гладкий Ф.Ф., Півень О.М., Гірман В.В., Тесленко С.О., Калішевська Н.В., Задорожний В.К.; заявник та патентовласник Перевалов Леонід Іванович. – № и 201506862; Заявл. 03.02.2015; Опубл. 10.05.2017; Бюл. №9.

12. Перевалов Л.І. Новая технология обрушивания семян подсолнечника / Л.И. Перевалов, Е.Н. Пивень, А.В. Попсуйшапка, С.А. Тесленко // Масложировой комплекс. – Днепропетровск. – 2012. – №1 (36). – С. 47–49.

13. Перевалов Л.І. Вплив вологості насіння високоолеїнового соняшнику гібриду український F–1 на обрушування цього насіння в замороженому стані /Л.І. Перевалов, О.М. Півень, С.О. Тесленко //Інтегровані технології та енергозбереження. – 2019. – №4. – С. 56–62.

14. Белобороов В.В. Основные процессы производства растительных масел. – М: Пищевая промышленность, 1966. – 478 с.

15. Пат. 02645 Україна. МПК В02В 3/00 3/02 Спосіб Ласко обрушування олійного насіння та насіннерушка Ласко / Фадеєв Л.В.; Опубл. 15.12.2003; Бюл. №5.

16. Лобанов В.И. Устройство для обрушивания семян подсолнечника с предварительным их ориентированием в направляющих коробах / В.И. Лобанов, С.Ю. Бузоверов. М.П. Желтунов // Вестник Алтайского государственного университета. – №3 (149).– 2017. – С. 161.

17. Копейковский В.М. Лабораторный практикум по технологии производства растительных масел / В.М. Копейковский, А.К. Мосян, Л.А. Мхитарьянц, В.Е. Тарасов. – М: Агропромиздат, 1990. – 416 с.

Bibliography (transliterated)

1. Teslenko S.O. Bezlushpynne yadro soniashnyku dlia otrymannia kondyterskykh vyrobiv / S.O. Teslenko, L.I. Perevalov, H.V. Sadovnychi // Prohresyvni tekhnika ta tekhnolohii kharchovykh vyrobnytstv restorannoho hospodarstva i torhivli. – Kharkiv: KhDUKht, 2013. – Vyp.2 (18). – P. 84–91.

2. Ikhno Mykola Petrovych. Naukovo-praktychni osnovy otrymannia ta vykorystannia kharchovoho bezlushpynnoho yadra soniashnyka: dys. na zdobuttia nauk. stup. d-ra tekhn.

nauk: 05.18.6 / Natsionalnyi tekhnichnyi universytet «Kharkivskiy politekhnichnyi instytut». – Kharkiv, 2004.

3. Tehnologiya proizvodstva rastitelnykh masel: uchebnik / L.A. Mhityants, E.P. Kornena [i dr.]; pod obschey redaktsiye E.P. Kornenoy. – Sb: GIOR, 2009. – 352 p.

4. Kupchenko A. Dobre obrushennia nasinnia soniashnyku – zaporuka yakosti kintsevoi produktsii / A. Kupchenko // Oliino-zhyrovyi kompleks. – 2007. – no 5.

5. Pat. 27009 Ukraina, MPKAL1/36,C11B 1/04, Sposib oderzhannia yadra soniashnykovoho nasinnia / Ykhno N.P.; Zaiavnyk ta patentovlasnyk Ikhno Mykola Petrovych.no y 95114827; zaiavl.09.11.1995; opubl.28.02.2000; Biul. no 1.

6. Frolov Ruslan Nikolaevich. Sovershenstvovanie protsessa obrushivaniya semyan podsolnechnika s primeneniem pri podgotovke infrakrasnogo oblucheniya: diss. Kandidata tehnikeskikh nauk 05.18.12 – Protsepyi i apparaty pischevykh proizvodstv. Krasnodar. – 2002. – 123 p.

7. Ihno N.P. Teoriya i praktika polucheniya nizkoluzgovogo yara podsolnechnika / N.P. Ihno // Maslozhirovaya promyshlennost. – 1999. – no 3. – P. 19–21.

8. Lerrauzaux Andre, Sury-en-Brie, Process for embrittling integuments of small seeds. U.S. Pat. 4.090. 669. May 25, 1978.

9. Fyut A.K. Sovershenstvovanie tehnologii i oborudovaniya podgotovitelnykh protsessov pererabotki semyan podsolnechnika / A.K. Fyut, V.V. Klyuchkin // M.: AgroNIITEIPP. 1990. – Seriya 20. – Vyip. 5. – 32 p.

10. Kucherenko A.V. Ohliad i klasyfikatsiia sposobiv pidhotovky nasinnia soniashnyku do obrushuvannia / A.V. Kucherenko, T.I. Melekhova // Khranenyie y pererabotka zerna. – 2001. – T. 22. – no4. – P. 35–38.

11. Pat. 1142005 Ukraina, MPK (2017.01), S11V 1/02 (2006.01), V02V 3/00. Sposib obrushuvannia soniashnykovoho nasinnia / Perevalov L.I., Popsuishapka A.V., Hladkyi F.F., Piven O.M., Hirman V.V., Teslenko S.O., Kalishevskaya N.V., Zadorozhnyi V.K.; zaiavnyk ta patentovlasnyk Perevalov Leonid Ivanovych. – no y 201506862; Zaiavl. 03.02.2015; Opubl. 10.05.2017; Biul. No 9.

12. Perevalov L.I. Novaya tehnologiya obrushivaniya semyan podsolnechnika / L.I. Perevalov, E.N. Piven, A.V. Popsuishapka, S.A. Teslenko // Maslozhirovoy kompleks. – Dnepropetrovsk. – no1 (36). – P. 47–49.

13. Perevalov L.I. Vplyv volohosti nasinnia vysokooleinovoho soniashnyku hibrydu ukrainskyi F–1 na obrushuvannia tsoho nasinnia v zamorozhenomu stani / L.I. Perevalov, O.M. Piven, S.O. Teslenko // Intehrovani tekhnolohii ta enerhozberezhennia. – 2019. – no4. – P. 56–62.

14. Beloborov V.V. Osnovnyie protsepyi proizvodstva rastitelnykh masel. – M: Pischevaya promyshlennost, 1966. – 478 p.

15. Pat. 02645 Ukraina. MPK V02V 3/00 3/02 Sposib Lasko obrushuvannia oliinoho nasinnia ta nasinnierushka Lasko / Fadiiev L.V.; Opubl. 15.12.2003; Biul. no 5.

16. Lobanov V.I. Ustroystvo dlya obrushivaniya semyan podsolnechnika s predvaritelnyim ih orientirovaniem v napravlyayuschih korobah / V.I. Lobanov, S.Yu. Buzoverov. M.P. Zheltunov // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo universiteta. – no 3 (149). – 2017. – P. 161.

17. Kopeykovskiy V.M. Laboratornyi praktikum po tehnologii proizvodstva rastitelnykh masel / V.M. Kopeykovskiy, A.K. Mosyan, L.A. Mhityants, V.E. Tarasov. – M: Agropromizdat, 1990. – 416 p.

УДК 582.998.2:664.31

Перевалов Л.І., Фадєєв Л.В., Півень О.М., Тимченко В.К., Дьяченко М.В.

ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОБРУШУВАННЯ НАСІННЯ СОНЯШНИКУ КОНДИТЕРСЬКОГО СОРТУ

Сфери використання безлушпинного ядра соняшнику постійно розширюються і одночасно видозмінюються вимоги щодо структурно-механічних властивостей обрешеного насіння. Значна частина безлушпинного ядра є предметом експорту України. Метою цього дослідження було вивчення закономірностей впливу комплексу сучасних факторів на процес обрушування фракції дрібного кондитерського насіння та визначення ефективних технологічних параметрів, що забезпечують максимальний вихід ядрової фракції і максимальний вихід незруйнованого цілого ядра «з носиком». Наведено результати системного теоретичного та експериментального дослідження комплексної дії сучасних технологічних факторів на особливості обрушування дрібної фракції насіння соняшнику кондитерського сорту, а саме: вплив чотирьох факторів: N – фактору (швидкість обертання ротору насіннерушки); W – фактору (вологість насіння); T – фактору (температура обрушування насіння) та O_r – фактору (орієнтація насіння в момент удару об деку насіннерушки). Вперше експериментально доведено, що за умови дії мінусових температур знижується ефективність впливу адсорбційної вологи на пружно-пластичні властивості оболонки насіння. А також доведено, що фактор, який враховує положення насіння в момент удару об деку насіннерушки суттєво впливає на показники обрушування дрібної фракції насіння кондитерського сорту. Запропоновано ефективні технологічні рішення щодо реалізації наукових здобутків у технологіях видобування рослинної олії та білку, а також у виробництві високоякісного ядра соняшника кондитерського сорту.

Ключові слова: насіння соняшнику, кондитерський сорт, обрушування, технологічні параметри, нові закономірності, ефективні технологічні рішення.

Перевалов Л.И., Фадеев Л.В., Пивень Е.Н., Тимченко В.К., Дьяченко М.В.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ОБРУШИВАНИЯ СЕМЯН ПОДСОЛНЕЧНИКА КОНДИТЕРСКОГО СОРТА

Сферы использования безлузгового ядра подсолнечника постоянно расширяются и одновременно видоизменяются требования к структурно-механическим свойствам обрешенных семян. Значительная часть безлузгового ядра является предметом экспорта Украины. Целью настоящего исследования было изучение закономерностей влияния комплекса современных факторов на процесс обрушивания мелкой фракции кондитерских семян подсолнечника и определения эффективных технологических параметров, обеспечивающих максимальный выход ядровой фракции и максимальный выход целого ядра «с носиком». Приведены результаты системного теоретического и экспериментального исследования комплексного воздействия современных технологических факторов на особенности обрушивания мелкой фракции семян подсолнечника кондитер-

ского сорта, а именно: влияние четырех факторов: N – фактора (скорость вращения ротора семенорушки), W – фактора (влажность семян), T – фактора (температура обрушивания семян) и O_r – фактора (ориентация семян в момент удара о деку семенорушки). Впервые экспериментально доказано, что в условиях действия отрицательных температур снижается эффективность воздействия адсорбционной влаги на упруго-пластические свойства оболочки семян. А также доказано, что фактор, который учитывает положения семян в момент удара о деку семенорушки существенно влияет на показатели обрушивания мелкой фракции семян кондитерского сорта. Предложены эффективные технологические решения по реализации научных достижений в технологиях добычи растительного масла и белка, а также в производстве высококачественного ядра подсолнечника кондитерского сорта.

Ключевые слова: семена подсолнечника, кондитерский сорт, обрушивание, технологические параметры, новые закономерности, эффективные технологические решения.

Perevalov L., Fadeev L., Piven O., Timchenko V., Diachenko M.

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL RESEARCHES OF THE PROCESS OF SEED DEHULLING OF SUNFLOWER CONFECTIONERY SORT

The areas of use of the huskless sunflower kernel are constantly expanding and, at the same time, the requirements for the structural and mechanical properties of peeled seeds are being modified. A significant part of the huskless sunflower kernel is the subject of export of Ukraine. The purpose of this study was to study the laws of the influence of a complex of modern factors on the separation process of husks of a fine fraction of confectionery sunflower seeds and definition of effective technological parameters that ensure the maximum output of the whole kernel “with a nose», namely, the influence of four factors: N – factor (speed of rotation of the rotor of the seed), W – factor (moisture of the seeds), T – factor (temperature of seed crushing) and O_r – factor (orientation of the seeds at the moment of impact on the deck of the Dehuller). For the first time it has been experimentally proved that under the influence of subzero temperatures the efficiency of the effect of adsorption moisture on the elastic-plastic properties of the seed coat decreases. And it is also proved that a factor that takes into account the position of the seeds at the time of impact on the deck of the Dehuller significantly affects the rate of caving in the small fraction of seeds of the confectionery variety. Effective technological solutions are proposed for the implementation of scientific achievements in technologies for the extraction of vegetable oil and protein, as well as in the production of a high-quality of sunflower kernel confectionery sort.

Keywords: sunflower seeds, confectionery sort, caving, technological parameters, new patterns, effective technological solutions.

Савінок О.М., к.техн.н., доцент

ЕКОЛОГІЧНІ РИЗИКИ СВІТОВОГО ОКЕАНУ ДЛЯ МОРСЬКИХ ССАВЦІВ

Науково-дослідний центр Збройних Сил України “Державний океанаріум”, м. Одеса

Ключові слова: екотоксиканти, морські ссавці, мікропластики, важкі метали, біоциди, ціанотоксини, органічні сполуки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основним середовищем значної частини біологічних об’єктів є вода, прісна або солоня. Мешканці водного середовища – гідробіоти, за мільйони років повністю адаптувалися до зовнішніх умов. Тому будь-який вплив негативно позначається на процесах їх життєдіяльності. Найбільше потерпають від діяльності людей високоорганізовані тварини – морські ссавці, особливо ті, які знаходяться в безпосередньому оточенні людей. До таких тварин відносяться дельфіни.

Вода Світового океану, частиною якого є Чорне море, безперервно забруднюється різноманітними речовинами. Вони, як правило, викликають негативні зміни якості середовища і захворювання або загибель живих організмів, які його населяють [1]. У наш час за оцінкою EPA (United States Environmental Protection Agency) існує більше 6 млн. найменувань токсичних речовин, які використовуються людиною у ході господарської діяльності, і зі стоками, атмосферними опадами, ґрунтовими водами та іншими шляхами надходять у водні басейни. Значна частка цих речовин – штучно синтезовані токсичні забрудники (ксенобіотики) – чужорідні для водних екосистем речовини, які мало і повільно розкладаються, здатні акумулюватися донними субстратами та живими організмами. З кожним роком перелік токсичних речовин поповнюється на 1–2 тис. нових сполук.

Характер впливу токсичних речовин на гідробіотів має певну послідовність [1]. На першому етапі відбуваються фізико-хімічні та хімічні зміни водного середовища за рахунок речовин, які потрапляють у воду, та за рахунок продуктів реакцій між хімічно-активними токсикантами. При потрапленні до живих організмів токсичних речовин різними шляхами, токсиканти накопичуються в біооб’єктах і чинять агресивний вплив на стан здоров’я, або ж кумулятивний – викликаючи появу хронічних захворювань. Е.О. Веселов [2] розрізняв три фази взаємодії між стічними водами і водою у водоймах: 1) зміна фізичних, фізико-хімічних, хімічних властивостей води за рахунок перебігу хімічних реакцій; 2) токсична дія на гідробіотів; 3) стабілізація стану водойми у результаті фізичних, хімічних і біологічних процесів самоочищення.

Для діагностики отруєнь гідробіотів, і в першу чергу риб, морських ссавців, забруднюючі речовини за механізмом їхньої токсичної дії поділяють на локальні і резорбтивні отрути. Локальними отрутами називають високотоксичні сполуки, які вже в низьких концентраціях здатні викликати руйнування тканин і органів живих об’єктів. Резорбтивними отрутами називають хімічні сполуки, які порушують діяльність функціональних систем живого організму.

Залежно від характеру перебігу інтоксикацій в організмі гідробіотів і часу роз-

витку токсичного ефекту розрізняють гострі та хронічні отруєння. Гострі отруєння розвиваються стрімко в умовах високих рівнів забруднення води, хронічні токсикози – поступово в умовах тривалої дії низьких рівнів забруднення.

Як правило, гострі токсикози зустрічаються значно рідше, ніж хронічні. Хронічні – накопичувальні, їх не видно одразу, але їх прихований характер має не менш критичне значення ніж при гострих токсикозах. Дослідити вплив всіх отрут на гідробіонти дуже важко, тому вибираються маркери, які є найбільш токсичними, з точки зору фізіологічних порушень. Концентрації таких речовин зі зростанням шабля ланцюга живлення, зростають у тисячі і десятки тисяч разів. Вони дуже повільно розкладаються і здатні акумулюватися у компонентах біоти. У більшості наукових робіт в галузі екоотоксикології, як загальної, так і водної, до пріоритетних токсикантів відносять сполуки важких металів, нафту і нафтопродукти, феноли, пестициди (у тому числі і хлорорганічні), синтетичні поверхнево-активні речовини [1].

Морські ссавці, до яких відносяться дельфіни, морські леви, тюлені упродовж всього цивілізаційного розвитку людства йшли поруч. Але близькість людини в житті морських ссавців, в останні роки несе загрозу для них загрозу. Викиди токсичних речовин у моря та океани, розливи нафти, активний рух морських суден не можуть не позначитися на навколишньому середовищі, в тому числі на фауні на флорі нашої планети.

Мета статті. Морські ссавці є заключною ланкою в ланцюжку живлення, тому речовини, які мають здатність акумулюватися в первинних організмах знаходяться в граничній концентрації в організмі хижаків і не можуть не вплинути на їх стан здоров'я. Із-за активної діяльності людини, деякі тварини або на грані зникнення, або ж їх популяція катастрофічно зменшується. Наприклад, дельфіни-афаліни в Україні занесені до Червоної книги. В інших державах, їх популяційна чисельність постійно зменшується. Тому дослідження екологічної ситуації водних басейнів Світового океану є пріоритетним напрямком для науковців всього світу.

Не типовим джерелом токсичних речовин, які скидаються до водойм у складі стічних вод є біоциди, які додають до фарб кораблів та катерів. Бтітта Екланд оцінювала потенційну токсичність біоцидів – трибутилтіну (ТБТ), діурону, іргаролу 1051, цинк-піретіону – в воді, осаді та ґрунті. Ці речовини створюють ризик для морської екосистеми в цілому. Досліджені речовини корабельних фарб негативно впливають на прибережну екосистему, зокрема на нецільові організми [3]. Автором було встановлено, що із аналізованих біоцидів, найбільш токсичним є ТБТ, менш токсичними – діурон, цинк-піретіон та іргарол.

Значне поширення пластику в побуті створило екологічну катастрофу із-за тривалого циклу його розкладання в ґрунті та в водному середовищі, утворення токсичних продуктів розпаду. Надходження полімерних волокон до організму біологічних об'єктів сприяє порушенню фізіологічних процесів, появи хронічних захворювань. Авторами [4] проводилися дослідження щодо розповсюдження та хімічної природи мікропластиків в трьох регіонах Світового океану: Атлантичний (Північна Кароліна, США), Середземномор'я (Північний Кіпр), Тихий океан (Квінсленд, Австралія). Більшість із встановлених полімерних забруднювачів – синтетичні матеріали, еластоміри: поліетилен (PE), етилен-пропіленовий каучук, поліестер, поліакриламід, етилен-пропілендієновий мономерний каучук (EPDM каучук), гідрований бутадієн-нітрильний каучук

(HNBR) та неопрен, поліарамід (кевлар), регеновані целюлозні волокна (SRCF). В поверхневих водах розповсюджені – поліетилен та поліпропілен – в шарі водного басейну, який є постійним середовищем перебування морських ссавців. Із встановлених шляхів надходження мікропластиків до організму тварин є вживання корму, забрудненого цими речовинами. Полімерні забруднювачі акумулюються в біологічних об'єктах, починаючи від найпростіших. Відповідно до ланки харчового ланцюга збільшуються розміри частинок мікропластику від 0,1 мм до частинок з довжиною більше 5 мм. Руднева та Ковалевська [5] досліджували вміст шлунково-кишкового тракту китоподібних і встановили наявність різної кількості мікропластиків в організмах – від 1 до 88 частинок, в залежності від регіону розповсюдження, і, відповідно, від рівня забруднення водного регіону антропогенним сміттям.

Не меншу загрозу для морських ссавців становить мікропластик в Чорному морі. Щорічно, лише Дунай приносить в Чорне море до 4,2 т пластику на добу. Із загальної маси пластику, значна частка представлена мікропластиком [6].

Як правило, порти вважаються основним ядром економічної діяльності морського регіону. Антропогенні забруднення, які надходять у прибережні води у вигляді промислових та сільськогосподарських скидів, стічних вод, випадкових розливів з комерційних суден, атмосферних осадів або з інших джерел містять важкі метали, пестициди, нафтопродукти та накопичуються в поверхневих шарах, в водній товщі, в донному осаді і негативно впливають на водну екосистему [7]. Перебуваючи у воді, ці речовини вступають у ряд хімічних реакцій, осідають на дно [8, 9], можуть з'єднуватися із органічними складовими, надходити до травного тракту мікроорганізмів і за харчовим ланцюгом пересуватися до морських хижаків. Для біологічних об'єктів важкі метали, за рахунок здатності до біоаккумуляції є потенційною загрозою, спричиняють порушення фізіологічних процесів, появі хронічних захворювань [10, 11].

За природний рівень вважається концентрація міді у воді Північного Льодовитого моря зі значеннями від 0,1 до 0,2 мг Си дм³ [12], в незабруднених районах – вміст міді у воді, зазвичай, коливається від 1 до 2 мг Си дм³ [13]. Вміст природного кадмію в воді перевищує 0,02 мг Сd дм³ [14]. Збільшення концентрації важких металів в морській воді автоматично призводить до зростання концентрації важких металів в організмах гідробіонтів [15].

Найчастіше науковці використовують мідію в якості біо-тесту для оцінки рівня забруднення морського середовища із-за їх високої здатності до біоаккумуляції різних забруднювачів із морського середовища [16, 17]. Акцент був зроблений на найбільш розповсюджених важких металах – Cd, Cu, Pb, Zn та деяких пестицидах [15]. Встановлено, що концентрації Cu, Pb та хлорорганічних пестицидів перевищують гранично-допустимі концентрації в прибережних зонах Чорного моря уздовж території Румунії з концентраціями Cu від $112,30 \pm 3,8$ мг/дм³ до $119,58 \pm 2,3$ мг/дм³, Pb – від $21,44 \pm 1,6$ мг/дм³ до $24,22 \pm 2,8$ мг/дм³, пестицидів – для ліндану – від $1,2 \pm 1,6$ мг/дм³ до $1,4 \pm 1,8$ мг/дм³. Значне забруднення води сприяло накопиченню важких металів в м'яких тканинах мідій, відібраних в забруднених регіонах. Автори зазначили, що концентрація токсичних речовин в тканинах біооб'єктів більша, ніж у воді, що свідчить про їх кумуляцію: в мушлях – Cu від $185,18 \pm 2,7$ мг/г до $196,12 \pm 2,1$ мг/г, Pb – від $100,94 \pm 1,9$ мг/г до $102,19 \pm 2,2$ мг/г; в м'язах Cu від $202,36 \pm 3,3$ мг/г до $256,21 \pm 2,5$ мг/г, Pb – від $101,31 \pm 1,6$ мг/г до $104,68 \pm 2,8$ мг/г. Враховуючи те, що мідію є однією із ланок в

харчовому ланцюгу морських тварин, можна спрогнозувати значну концентрацію важких металів в організмах хижаків, наприклад дельфінів в досліджуваному регіоні.

Джерелом токсичних елементів в організмах морських ссавців можуть бути водорості, частка яких від загального вмісту шлунково-кишкового тракту становить – 6,1–6,7 % [18]. Автори визначили наявність бурих (Phaeophyta), зелених (Chlorophyta) та невизначених водоростей в ШКТ загиблих дельфінів Азовка (*P. p. relicta*) та Білобочка (*D. d. ponticus*) знайдених на узбережжях України, Болгарії, Грузії, Росії.

Для того, щоб проводити моніторинг ступеня забруднення водних басейнів і визначення концентрацій токсичних елементів, немає необхідності проводити дослідження на тваринах. Враховуючи пряму залежність між концентрацією токсикантів у об'єктах харчування та у споживачів, можна для аналізу екологічної ситуації використовувати результати досліджень морської флори.

Прикладом такого моніторингу можуть бути дослідження токсичних елементів у морській воді та у водоростях в Чорному морі, які проводилися в 2012 році в прибережній зоні Севастополя. Автори [19] досліджували вміст міді та кадмію в різних бухтах. Було встановлено, що в морській воді, зразки якої були відібрані з різних бухт містили кадмій в межах від 0,13 до 1,74 мг/дм³, а мідь – від 7,07 до 22,56 мг/дм³. Значний інтервал в концентраціях елементів пов'язаний із рівнем антропогенної експлуатації бухт. Найбільш забрудненими виявилися бухта Блакитна та Севастопольська, найчистішою – бухта Південна. Концентрація міді в водоростях *Cystoseira barbata* та *Ulva rigida*, які збирали з тих же місць, де і відбирали зразки морської води, коливалася від 3,375 до 14,96 мг Cu кг⁻¹. Накопичення різними водоростями міді практично однакове. Вміст кадмію в цих же водоростях становив від 0,133 до 1,133 мг Cd кг⁻¹. Більш високе накопичення кадмію спостерігалось у *Cystoseira barbata*, в порівнянні з *Ulva rigida*. Проведені дослідження вказують на небезпечну, надмірну біоаккумуляцію міді та кадмію у водному середовищі та створення потенційної загрози життю водних організмів та споживачів морепродуктів.

Комплексними дослідженнями із забруднення Чорного моря поблизу Севастополя токсичними елементами займалися інші науковці, вивчаючи характер накопичення токсикантів в бурих водоростях *Cystoseira barbata* і *Cystoseira crinita* [20], в донних відкладеннях [21, 22]. Представлені результати корелюють між собою і свідчать про накопичення високих концентрацій нафтових вуглеводнів, важких металів вздовж узбережжя Севастополя. На різницю концентрацій токсичних елементів у воді значною мірою впливає сезонність – максимальне антропогенне навантаження на водний басейн спостерігається влітку.

Надходження до морських басейнів річкових скидів сприяє накопиченню органічних сполук, зокрема фосфору та азоту в прибережній зоні. Найбільш доступні для дослідження антропогенного впливу є Середземне та Чорне моря, які є найбільшими напівзакритими морськими басейнами на Землі. Науковцями було встановлено, що річкові скиди впливають на тривалість евтрофікації [23–26]. На концентрацію розчинених фосфатних чи нітратних з'єднань впливає сезонність та джерело, тобто, річковий водогін. Дослідження мілководного прибережного шельфу Чорного моря дозволило відзначити хронічне шкідливе цвітіння водоростей, зменшення прозорості водного стовпа, стійку гіпоксію, та масову смертність пелагічних та бентосних організмів [27, 28]. Саме наземна органіка в прибережних зонах негативно впливає на ріст морських бактерій [29–

31]. Позитивний вплив мають органічні сполуки лише на ціанобактерії, які при їх надмірних концентраціях та підвищенні температури активно розмножуються.

Науковцями промислово-розвинених країн проводилися дослідження щодо впливу ціанотоксинів [32], синтезованих ціанобактеріями, на стан організму дельфінів, як верхньої ланки харчування в морському середовищі. Розглянутий токсин акумулюється в нейропротеїнах мозку та сприяє появі нейродегенеративних розладів, які проявляються невропатологічними захворюваннями у тварин, зокрема діагностуються дистрофічні неврити. За діагностичними ознаками, які спостерігалися в слуховій і зоровій корі, і в меншій мірі, в стовбурі мозкових меж дельфінів, автори відзначили активне старіння клітин мозку. Дані паталогічні зміни не можуть не позначитися на навігаційній системі гідролокатора дельфіна, функціональність якої забезпечує мозок.

Присутність у воді значної концентрації сполук хлору, зокрема, поліхлорованих біфенілів (ПХБ) негативно впливають на популяції ссавців в акваторіях промислово-розвинених портів [33]. У дельфінів-афалін, які були об'єктами досліджень науковців [34], встановлено розлади ендокринної системи. Деякі хлорвмісткі сполуки мають кумулятивний характер, що, в цілому, негативно впливає на стан здоров'я ссавців, як хижаків верхнього рівня.

Висновок. Аналізуючи дію антропогенного впливу на водні біосистеми, слід зазначити, що розглянуті токсиканти сприяють погіршенню екологічної ситуації водних ресурсів планети та негативно впливають на живі організми. Окрім важких металів особлива увага повинна приділятися біоцидам, мікропластикам, органічним речовинам, хлорвмістким сполукам та іншим речовинам, концентрації яких щорічно зростають в водах Світового океану і призводять до захворювань та зникненню представників флори та фауни.

Література

1. Навчальне видання. Водна токсикологія. Методичний посібник для самостійної роботи студентів заочної форми навчання Частина 1. Загальні основи водної токсикології для бакалаврів за напрямом підготовки 6.090201 – «Водні біоресурси та аквакультура» Укладач: Дудник С.В. Видавництво Українського фітосоціологічного центру Київ – 2014. – 180 с.
2. Веселов Е.А. Классификация сточных вод и их компонентов по их действию на водоемы и водные организмы / Е.А.Веселов // Известия Государственного научно-исследовательского института озерного и речного рыбного хозяйства, 1971. – Том 78. – С. 43–76.
3. Britta Eklund Estuarine, Review of the use of Ceramium tenuicorne growth inhibition test for testing toxicity of substances, effluents, products sediment and soil, Coastal and Shelf Science 195 (2017) 88–97 <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2016.10.009> 0272-7714/.
4. Rudneva I.I., Kovalevski A.O. Use of fish embryo biomarkers for the evaluation of mazut toxicity in marine environment Received: 29 January 2019 / Accepted: 8 April 2019 / Published online: 23 April 2019 The Author(s) 2019 Int Aquat Res (2019) 11:P. 147–157 <https://doi.org/10.1007/s40071-019-0225-xI>.
5. Emily M. Duncan, Annette C. Broderick¹, Wayne J. Fuller, Tamara S. Galloway, Matthew H. Godfrey, Mark Hamann, Colin J. Limpus, Penelope K. Lindeque, Andrew G.

Mayes, Lucy C. M. Omeyer, David Santillo, Robin T. E. Snape, Brendan J. Godley. Microplastic ingestion ubiquitous in marine turtles. Received: 27 August 2018 | Accepted: 15 October 2018 744 | wileyonlinelibrary.com/journal/gcb Glob Change Biol. 2019; 25:744–752. DOI: 10.1111/gcb.14519.

6. Aaron Lechner, Hubert Keckeis, Franz Lumesberger-Loisl, Bernhard Zens, Reinhard Krusch, Michael Tritthart, Martin Glas, Elisabeth Schludermann Short communication The Danube so colourful: A potpourri of plastic litter outnumbers fish larvae in Europe's second largest river Environmental Pollution 188 (2014) 177–181.

7. Gray J.S., Effects of pollutants on marine ecosystems. Netherlands J. Sea Res., 1982, 16, 424-443.

8. Surugiu V, Mustață Gh, Hârțăscu M, Contributions to the qualitative and quantitative study of the macrozoobenthos from the Danube – Black Sea Canal. Studii și Cercetări Științifice – Seria Biologie, 2004; 9: 75-80.

9. Ko FC, Chang CW, Cheng JO, Comparative study of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Coral Tissues and the Ambient Sediments from Kenting National Park, Taiwan. Environ Pollut., 2014; 185: 35–43.

10. Bakar A.F.A., Yusol., Fatt N.T., Othman F., Ashraf M.A., Arsenic, Zinc and Aluminium Removal from Gold Mine Wastewater Eluents and Accumulation by Submerged Aquatic Plants (*Cabomba piauhyensis*, *Egeria densa*, and *Hydrilla verticillata*). BioMed Research International, Hindawi Publishing Corporation, 2013, Article ID 890803, 7 pp.

11 Ashraf M.A., Maah M.J., Yusol., Bioaccumulation of Heavy Metals in Fish Species Collected From Former Tin Mining Catchment. Int. J. Environ. Res., 2012, 6(1), 209–218.

12. Kahle J., Zauke G-P. 2003. Bioaccumulation of trace metals in the Antarctic amphipod *Orchomenocheles*: evaluation of toxicokinetic models. Mar. Environ. Res., 55(5), 359–384. doi:10.1016/S0141-1136(02)00288-X.

13. Kabata-Pendias A., Pendias H. 1999. Biogeochemia pierwiastków śladowych. Wyd. PWN, Warszawa, 352 pp.

14. Bandara J.M.R.S., Wijewardena H.V.P., Seneviratne H.M.M.S. 2010. Remediation of cadmium contaminated irrigation and drinking water: A large scale approach. Toxicol. Lett., 198(1), 89–92. doi:10.1016/j.toxlet.2010.04.030.

15. Magdalena Mititelu, Elena Moroșan, Sorinel Marius Neacșu, Elena Iuliana Ioniță. Research regarding the pollution degree from Romanian Black sea coast Manuscript received: June 2018 Farmacia, 2018, Vol. 66, 6 1059-1063 DOI: HTTP://DOI.ORG/10.31925/.

16. Şengör GF, Gün H, Kalafatoğlu H, Determination of the Amino Acid and Chemical Composition of Canned Smoked Mussels (*Mytilus galloprovincialis* L.), Turk. J Vet Anim Sci., 2008; 32: 1–5.

17. Giuseppa Di B, Russo E, Giacomo D, Heavy Metals and Persistent Organic Pollutants in Marine Organisms from Two Sicilian Protected Areas: Strait of Messina and Cape Peloro Lakes. Curr Org Chem., 2017; 21(5): 387–394.

18. Кривохижин В.С., Биркун А.А., Лаборатория Брэма, Симферополь, Украина 2МОО Черноморский совет по морским млекопитающим, Симферополь, Украина Спектр питания китообразных в Чёрном море. Морський екологічний журнал, № 4, Т. VIII. 2009. С. 67–78.

19. Marcin Niemie, Barbara Wiśniowska-Kielia, Monika Arasimowicz, Natalya Kuzminowa. Assessment of the Black sea ecosystem pollution with copper and cadmium in

selected bays of Sevastopol region *Journal of Ecological Engineering* Volume 16, Issue 5, Nov. 2015, pages 119–127 DOI: 10.12911/22998993/60467.

20. Alexandra Kravtsova, Nataliya Milchakova and Marina Frontasyeva Elemental accumulation in the Blacksea brown algae *Cystoseira* studied by neutron activation analysis *ocena akumulacji pierwiastków w czarnomorskich glonach brunatnych Cystoseira Z Wykorzystaniem neutronowej analizy aktywacyjnej* *Ecol.Chem. Eng. S.* 2014;21(1):9–23, DOI: 10.2478/eces-2014-0001.

21 Kopytov YuP, Minkina NI, Samishev EZ. Level of water and bottom sediments pollution of Sevastopolskaya bay (the Black Sea). *Sistemi Kontrolya Okruzhajushej Sredi.* 2010;14:199–208.

22 Kuftarkova EA, Rodionova NYu, Gubanov VI, Bobko NI. Hydrochemical characteristics of several bays of the Sevastopol coast. Main results of complex investigations in Azov-Black Sea basin and the World Ocean (anniversary edition). *Yugniro, Kerch.* 2008;46:110–117.

23. Vollenweider, R.A.; Marchetti, R.; Viviani, R. Marine Coastal Eutrophication. *Proceedings of an International Conference, Bologna, Italy, 21–24 March 1990; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands; London, UK; New York, NY, USA; Tokyo, Japan, 1992; p. 1310. ISBN 978-0-444-89990-3.*

24. Markaki, Z.; Loýe-Pilot, M.D.; Violaki, K.; Benyahya, L.; Mihalopoulos, N. Variability of atmospheric deposition of dissolved nitrogen and phosphorus in the Mediterranean and possible link to the anomalous seawater N/P ratio. *Mar. Chem.* 2010, 120, 187–194.

25. The MerMex Group. Marine ecosystems' responses to climatic and anthropogenic forcings in the Mediterranean. *Prog. Oceanogr.* 2011, 91, 97–166.

26. Giani, M.; Djakovac, T.; Degobbis, D.; Cozzi, S.; Solidoro, C.; Fonda Umani, S. Recent changes in the marine ecosystems of the northern Adriatic Sea. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 2012, 115, 1–13.

27 Tugrul, S.; Murray, J.W.; Friederich, G.E.; Salihoğlu, T. Spatial and temporal variability in the chemical properties of the oxic and suboxic layers of the Black Sea. *J. Mar. Syst.* 2014, 135, 29–43.

28. Aubrey, D.; Moncheva, S.; Demirov, E.; Diaconu, V.; Dimitrov, A. Environmental changes in the western Black Sea related to anthropogenic and natural conditions. *J. Mar. Syst.* 1996, 7, 411–425.

29. Bianchi, T.S. The role of terrestrially derived organic carbon in the coastal ocean: A changing paradigm and the priming effect. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 2011, 108, 19473–19481. [CrossRef] [PubMed].

30. Asmala, E.; Autio, R.; Kaartokallio, H.; Stedmon, C.A.; Thomas, D.N. Processing of humic-rich riverine dissolved organic matter by estuarine bacteria: Effects of predegradation and inorganic nutrients. *Aquat. Sci.* 2014, 76, 451–463.

31. Stefano Cozzi, Carles Ibáñez, Luminita Lazar, Patrick Raimbault and Michele Giani. Flow Regime and Nutrient-Loading Trends from the Largest South European Watersheds: Implications for the Productivity of Mediterranean and Black Sea's Coastal Areas. November 2018; Accepted: 12 December 2018; Published: 20 December 2018 *Water* 2019, 11, 1; doi:10.3390/w11010001.

32. David A. Davis I. D., Kiyoo Mondo, Erica Stern, Ama K. Annor, Susan J. Murch, Thomas M. Coyne, Larry E. Brand, Misty E. Niemeyer, Sarah Sharp, Walter G. Bradley, Paul

Alan Cox ID, Deborah C. Cyanobacterial neurotoxin BMAA and brain pathology in stranded dolphins. *Mash PLOSONE* (<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213346> March 20, 2019 1/18).

33. Houde, M., Hoekstra, P. F., Solomon, K. R. & Muir, D. C. 2005 Organohalogen contaminants in dolphin oviducts. *Rev. Environ. Contam. Toxicol.* 184, 1 –57. (doi:10.1007/0-387-27565-7_1).

34. Lori H. Schwacke, Eric S. Zolman, Brian C. Balmer, Sylvain De Guise, R. Clay George, Jennifer Hoguet, Aleta A. Hohn, John R. Kucklick, Steve Lamb, Milton Levin, Jenny A. Litz, Wayne E. McFee, Ned J. Place, Forrest I. Townsend, Randall S. Wells and Teresa K. Anaemia, hypothyroidism and immune suppression associated with polychlorinated biphenyl exposure in bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) This journal is © 2011 The Royal Society Rowles Proc. R. Soc. B (2012) 279, 48–57 doi:10.1098/rspb.2011.0665 Published online 25 May 2011.

Bibliography (transliterated)

1. Navchalne vidannya Vodna toksikologiya. Metodichnij posibnik dlya samostijnoyi roboti studentiv zaочноyi formi navchannya Chastina 1. Zagalni osnovi vodnoyitoksikologiyi dlya bakalavriv za napryamom pidgotovki 6.090201 – «Vodni bioresursi ta akvakultura» Ukladach: Dudnik S.V. Vidavnistvo Ukrayinskogo fitosociologichnogo centru Kiyiv – 2014 180 p.

2. Veselov E.A. Klassifikaciya stochnyh vod i ih komponentov po ih dejstviyu na vodoemy i vodnye organizmy/E.A. Veselov // *Izvestiya Gosudarstvennogo nauchno-issledovatelskogo instituta ozernogo i rechnogo rybnogo hozyajstva*, 1971.– Part 78.– p. 43–76.

18. Krivohizhin S.V., Birkun A.A., Laboratoriya Brema, Simferopol, Ukraina 2MOO Chernomorskiy sovet po morskim mlekopitayuschim, Simferopol, Ukraina spektr pitaniya kitoobraznyh v Chyornom more Morskiy ekologichnij zhurnal, # 4, T. VIII. 2009. p. 67–78.

УДК 502:556.599

Савінок О.М., к.техн.н., доцент

ЕКОЛОГІЧНІ РИЗИКИ СВІТОВОГО ОКЕАНУ ДЛЯ МОРСЬКИХ ССАВЦІВ

В статті проведено аналіз впливу антропогенних забруднювачів на гідробіонтів. Визначено, що об'єкти флори і фауни, накопичують в собі токсичні елементи, які призводять до функціональних порушень процесів їх життєдіяльності. Значний акцент зроблено на забруднення активними токсикантами Чорного моря, як одного із закритих водних басейнів Світового океану. Відповідно до проведеного аналізу, встановлено, що біоциди корабельних фарб негативно впливають на прибережну екосистему, зокрема на нецільові організми, із досліджуваних речовин, найбільш токсичним є ТБТ, менш токсичними – діурон, цинк-піретіон та іргарол. Значної шкоди завдають мікропластики, які потрапляють до організмів морських ссавців харчовим ланцюгом, при вживанні цілої здобичі. В залежності від регіону Світового океану, в організмах ссавців знаходилося

від 1 до 88 частинок. Більшість із встановлених полімерних забруднювачів – синтетичні матеріали, еластомери: поліетилен, етилен-пропіленовий каучук, поліестер, поліакриламід, етилен-пропілен-дієновий мономерний каучук, гідрований бутадієн-нітрильний каучук та неопрен, поліарамід (кевлар), регеновані целюлозні волокна. Відзначено накопичення важких металів в прибережних зонах Чорного моря, як закритого басейну Світового океану, в концентраціях більших, ніж гранично допустимі норми – міді, кадмію, свинцю. Проведені дослідження вказують на небезпечну, надмірну біоаккумуляцію важких металів у водному середовищі та створення потенційної загрози життю водних організмів та споживачів морепродуктів.

Надходження до морських басейнів річкових скидів сприяє накопиченню органічних сполук, зокрема, фосфору та азоту в прибережній зоні. Органічні речовини сприяють цвітінню водоростей з появою в прибережних водах ціанотоксинів. Ціанотоксини призводять до важких невропатологічних захворювань у дельфінів. Деякі хлорвмісткі сполуки, які містяться в промислових скидах, мають кумулятивний характер і негативно впливають на стан здоров'я ссавців, як хижаків верхнього рівня.

Ключові слова: екотоксиканти, морські ссавці, мікропластики, важкі метали, біоциди, ціанотоксини, органічні сполуки.

Савинок О.Н., к.техн.н., доцент

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ МИРОВОГО ОКЕАНА ДЛЯ МОРСКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ

В статье проведен анализ влияния антропогенных загрязнителей на гидробионтов. Определено, что объекты флоры и фауны, накапливают в себе токсичные элементы, которые приводят к функциональным нарушениям процессов их жизнедеятельности. Значительный акцент сделан на загрязнение активными токсикантами Черного моря, как одного из закрытых водных бассейнов Мирового океана. Согласно проведенному анализу, установлено, что биоциды корабельных красок негативно влияют на прибрежную экосистему, в частности на нецелевые организмы, из изучаемых веществ, наиболее токсичным является ТБТ, менее токсичными – диурон, цинк-пиретион и иргарол. Значительный ущерб наносят микропластики, которые попадают в организмы морских млекопитающих по пищевой цепи, при употреблении целой добычи. В зависимости от региона Мирового океана, в организмах млекопитающих находилось от 1 до 88 частиц. Большинство из установленных полимерных загрязнителей – синтетические материалы, эластомеры: полиэтилен, этилен-пропиленовый каучук, полиэстер, полиакриламид, этилен-пропилен-диеновый мономерный каучук, гидрированный бутадие-нитрильный каучук и неопрен, полиарамид (кевлар), регенерированные целлюлозные волокна. Отмечено накопление тяжелых металлов в прибрежных зонах Черного моря, как закрытого бассейна Мирового океана, в концентрациях, превышающих предельно допустимые нормы – медь, кадмий, свинец. Проведенные исследования указывают на опасную, чрезмерную биоаккумуляцию тяжелых металлов в водной среде и создание потенциальной угрозы для жизни водных организмов и потребителей морепродуктов.

Поступления в морские бассейны речных сбросов способствуют накоплению органических соединений, в частности, фосфора и азота в прибрежной зоне.

Органические вещества способствуют цветению водорослей с накоплением в прибрежных водах цианотоксинов. Цианотоксины приводят к тяжелым невропатологическим заболеваниям у дельфинов. Некоторые хлорсодержащие соединения, которые есть в промышленных сбросах, имеют кумулятивный характер и отрицательно влияют на состояние здоровья млекопитающих, как хищников верхнего уровня.

Ключевые слова: экотоксиканты, морские млекопитающие, микропластики, тяжелые металлы, биоциды, цианотоксины, органические соединения

Savinok O.N.

ENVIRONMENTAL RISKS OF THE OCEAN FOR MARINE MAMMALS

The article analyzes the influence of anthropogenic pollutants on hydrobionts. It is defined that it's possible to accumulate in their own toxic elements, to bring them to functional disruption in the processes of life. Significant accent is drawn on the difficulty of active toxicants of the Black Sea, as one of the indoor water basins in the World Ocean. According to the analysis, it was found that marine ink biocides adversely affect the coastal ecosystem, in particular non-target organisms, of the test substances, the most toxic is TBT, less toxic are diuron, zinc pyrethione and igrarol. Considerable damage is caused by the microplastics that enter the organisms by the seafood through the food chain, when consuming whole prey. Depending on the region of the oceans, mammals contained from 1 to 88 particles. Most of the established polymeric contaminants are synthetic materials, elastomers: polyethylene (PE), ethylene-propylene rubber, polyester, polyacrylamide, ethylene-propylene-diene monomer rubber (EPDM rubber), hydrogenated butadiene-nitrile rubber, nitrile rubber kevlar), regenerated cellulose fibers (SRCF). The accumulation of heavy metals in the coastal areas of the Black Sea, as an enclosed basin of the oceans, at concentrations higher than the limit values – copper, cadmium, and lead – is noted. Researches have shown that hazardous, excessive bioaccumulation of heavy metals in the aquatic environment and the potential threat to the life of aquatic organisms and consumers of seafood. The increasing of marine discharges into river basins contributes to the accumulation of organic compounds, including phosphorus and nitrogen in the coastal zone. Organic substances contribute to the flowering of algae accumulated in the coastal waters of cyanotoxins. Cyanotoxins lead to severe neuropathological diseases in dolphins. Some chlorine-containing compounds found in industrial discharges are cumulative and adversely affect the health of scavengers, such as top-level predators.

Keywords: ecotoxicants, marine debris, microplastics, heavy metals, biocides, cyanotoxicants, organic compounds.

Білий М.Ф., магістр, Аніпко О.Б., д. техн н., професор

ДИСТРИБУТИВНИЙ ПІДХІД ДО АНАЛІЗУ ГОТОВНОСТІ АВІАЦІЙНОГО ПАРКУ З ФОРМАЛІЗАЦІЄЮ ПРИХОВАНИХ ВІДМОВ

Харківський національний університет повітряних сил імені І.М. Кожедуба, Харків

Ключові слова: готовність техніки, відмова, прихована відмова, вірогідність відновлення, дистрибутивний підхід.

При дослідженні кількісних характеристик надійності вельми важливим є поняття готовності. Під готовністю розуміється стан системи, коли працездатні всі елементи, які складають систему, в будь-який момент і на протязі визначеного часу виконувати завдання. При цьому стосовно до систем військового значення відмітимо, що готовність системи до негайного використання по призначенню розуміється незалежно від того, є система відновлювана або невідновлювальна. Потрібно, щоб з визначеного моменту часу система забезпечувала виконання заданих функцій. Для забезпечення готовності зазвичай передбачені роботи, пов'язані з виявленням, усуненням і попередженням відмов.

Ця проблема має місце не приходяще значення практично для всіх країн, в тому числі – розробників і виробників авіаційної техніки.

Так по даним газети Defence News коефіцієнт готовності для виконання бойового завдання тактичних винищувачів F-35, F-22, F-18 и F-16 ПС США повинен бути підвищений до кінця вересня 2019 року до 80 % Defence News вважає цю задачу вельми важкою, оскільки нинішній коефіцієнт бойової готовності винищувачів значно нижче. Видання констатує, що коефіцієнт боєготовності льотної техніки ВПС в 2017 році склав 71,3 %, що нижче, ніж в 2016 році – 72,1 %. Для окремих груп літаків показник ще нижче – 70 %, 54 % і навіть 49 %.

В Франції у порівнянні з 2014 роком, вартість обслуговування зросла до 95,7 млн євро. Цей зріст може здатися незначним, але кількість літаків в бойових частинах знизилась не дуже значно, в особливості через списання винищувачів Dassault Mirage F.1. Але це може пояснитися, можливо, зростою інтенсивністю експлуатації літаків за останні роки. Справність 93 винищувачів Dassault Rafale В і С знаходяться на відносно стабільному рівні з року в рік (48,5 % проти 47,7 % в 2014 році). Але в той же час вартість експлуатації значно зросла з 226,4 до 343,9 млн. євро. В середньому, рівень справних Mirage 2000 підтримується на одному рівні. Але для Mirage 2000D, які активно використовуються на Близькому Сході і Північній Африці, справність впала з 38,7 % до 32,9 %, а для Mirage 2000В – зросла (45,6 % і 41,7 % в 2014 році). Для Mirage 2000С ці показники залишаються на стабільному рівні – приблизно 45 %, а для Mirage 2000-5 навіть дещо зросли (39,1 % у порівнянні з 37,5 %).

Не має і бундесвер достатню кількість винищувачів. По інформації журналу Der Spiegel, з 129 винищувачів Eurofighter, який стоїть на озброєнні німецьких ВПС, тільки вісім готові о виконання бойових завдань. При цьому арсеналу ракет класу «повітря — повітря», якими володіє бундесвер, достатньо для оснащення тільки чотирьох літаків.

Серйозні несправності зафіксовані і у військових літаків Tornado, розроблених в 1970-х роках європейськими оборонними компаніями.

Зараз з тих що залишилися на озброєнні ВПС ФРГ 86 машин цього типу у стрій можуть стати тільки 30.

Як видно з наведених прикладів готовність техніки далека від 100 %. У теперішній час відомі два способи наближення технічних приладів до стовідсоткової готовності. Перший спосіб – створення пристроїв з високою безвідмовністю, їх готовність на протязі всього періоду експлуатації (чи хоча б на протязі періоду міжремонтного ресурсу) буде прагнути до 100 %. Другий спосіб – створення технічних пристроїв максимально пристосованих до виявлення, усунення і попередження відмов, що технічно і організаційно дозволяє відносно швидко відновити працездатність елементів які відмовили і забезпечити їх стовідсоткову готовність на протязі міжремонтного ресурсу. Часто другий спосіб виявляється найбільш доцільним, оскільки витрати на створення і експлуатацію елементів і бортових систем зі стовідсотковою безвідмовністю можуть бути неприпустимо більшими. Крім цього, не завжди можливо забезпечити стовідсоткову безвідмовність.

Для оцінки готовності елементів і систем служать коефіцієнти готовності, які зв'язують показники безвідмовності і відновлюваності.

Виявляється зрозумілим, що для систем які створювалися 30 і більше років тому застосовується другий спосіб. При цьому потік заявок можна рахувати найпростішим

Розглянемо найпростіший потік подій як необмежену послідовність випадкових точок. Виділимо довільну ділянку часу довжиною τ . За умов стаціонарності, відсутності післядії і ординарності числа точок, що потрапили на ділянку, розподілено по закону Пуассона з математичним очікуванням

$$\bar{a} = \lambda \tau, \quad (1)$$

де λ – щільність потоку (середнє число подій, що проходить на одиницю часу).

Вірогідність того, що за час τ відбудеться m подій

$$P_m(\tau) = \frac{(\lambda \tau)^m}{m!} e^{-\lambda \tau} \quad (2)$$

вірогідність того, що ділянка виявиться порожньою (не відбудеться жодної події),

$$P_0(\tau) = e^{-\lambda \tau}. \quad (3)$$

Але такі оцінки прийнятні коли мається статистика подій, при чому ці події незалежні. Важче складаються справи з прихованими відмовами, які можуть накопичуватись, проявлятися не одразу і не піддаватися діагностиці наявними засобами.

Для вирішення цієї задачі пропонується на відміну від відомих методів не зводити всі відмови на одну часову вісь, а спочатку розкасувати їх у відповідності з фізичними процесами що привели до відмови і для кожного з них використати свою часову вісь.

Так відповідно до таких процесів відносяться:

- корозія;
- вібрація;
- тертя та знос;
- тиск;
- температурне навантаження;
- електромагнітне поле;
- сонячне випромінювання;
- волога.

Такий підхід названий дистрибутивним і відображає той фізичний факт, що швидкість перетікання перерахованих процесів різна, а отже і інтенсивність буде неоднакова. Прихована відмова як правило погано піддається діагностиці і може не проявлятися явно довгий час, інколи до кінця експлуатації. Крім цього, прихована відмова може бути пов'язаний і з відмовою технічних засобів діагностики. В цьому випадку інтенсивність відновлення $\lambda \rightarrow 0$ середній час відновлення $T_B \rightarrow \infty$, а отже і вірогідність відновлення $P_B = 0$. Ці формальні показники прихованої відмови представляються як граничний випадок. При моделюванні щоб отримати нетривіальний результат необхідно задати ненульові, але фізичні значення вірогідності відновлення P_B і інтенсивності відновлення по аналогії з підходом розробленим професором Л.Г. Раскіним для вирішення матриць переходів в задачах масового обслуговування.

Література

1. Handbook of military industrial engineering / editors, Adedeji B. Badiru, Marlin U. Thomas ISBN 978-1-4200-6628-9 2009 by Taylor & Francis Group, LLC. CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group.
2. MILITARY HANDBOOK ELECTRONIC RELIABILITY DESIGN HANDBOOK MIL-HDBK-338B 1998 1046 p.
3. Rules of Thumb for Maintenance and Reliability Engineers/ editors R. Smith, R.K. Modly 314 p.
4. Труханов В.М. Надежность систем типа подвижных установок на этапе проектирования и испытания опытных образцов. – М Машиностроение, 2003.
5. Іленко Є.Ю., Аніпко О.Б. Управление надёжностью объектов авиационной техники как сложных технических систем. Інтегровані технології та енергозбереження. – Х.: НТУ "ХПІ". – 2005. – Вип. №2. – С. 145–149.
6. Іленко Є.Ю., Аніпко О.Б. Статистическая однородность выборки данных об отказах при эксплуатации вертолетных двигателей. Інтегровані технології та енергозбереження. – Х.: НТУ "ХПІ". – 2007. – Вип. №3. – С.37–41.
7. Іленко Є.Ю., Аніпко О.Б. Эксплуатационный цикл авиационного двигателя как критерий оценки его ресурса. Збірник наукових праць ХУПС. – Х.: ХУ ПС. – 2006. – Вип. №2(8). – С.4–6.
8. Іленко Є.Ю., Аніпко О.Б. Прогнозирование остаточного ресурса объектов вооружения и военной техники в нерасчетных условиях эксплуатации. Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов. – Х.: НАКУ ім. Н.Е. Жуковського "ХАІ". – 2008. – Вип. №1(52). – С.15–20.
9. The Military Balance 2014 IISS, 2014. – ISBN 978-1-85743-722-5.
10. The Military Balance 2016 NY: The International Institute For Strategic Studies, 2016. – 501 p.
11. The Military Balance 2018 February 2018. IISS.
12. The Military Balance 2019 February 2019. IISS.

Bibliography (transliterated)

4. Truhanov V.M. Nadezhnost sistem tipa podvizhnyih ustanovok na etape proektirovaniya i ispytaniya opytnyih obraztsov. – M Mashinostroenie, 2003.

5. Ilenko E.Yu. Anipko O.B. Upravlenie nadyozhnostyu ob'ektov aviatsionnoy tehniki kak slozhnykh tehnikeskikh sistem. Integrovani tehnologiyi ta energozberezheniya. – H.: NTU "HPI". – 2005. – Vip. #2. – P. 145–149.

6. Ilenko E.Yu. Anipko O.B. Statisticheskaya odnorodnost vyiborki dannykh ob otkazah pri ekspluatatsii vertoletnykh dvigateley. Integrovani tehnologiyi ta energozberezheniya. – H.: NTU "HPI". – 2007. – Vip. #3. – P. 37–41.

7. Ilenko E.Yu., Anipko O.B. Ekspluatatsionniy tsikl aviatsionnogo dvigatelya kak kriteriy otsenki ego resursa. Zbirnik naukovih prats HUPS. – H.: HU PS. – 2006. – Vip.#2(8). – P. 4–6.

8. Ilenko E.Yu. Anipko O.B. Prognozirovaniye ostatochnogo resursa ob'ektov vooruzheniya i voennoy tehniki v neraschetnykh usloviyakh ekspluatatsii. Voprosy proektirovaniya i proizvodstva konstruktsiy letatelnykh apparatov. – H.: NAKU Im. N.E. Zhukovskogo "NAI". – 2008. – Vip. #1(52). – P. 15–20.

УДК 62.192

Білий М.Ф., магістр, Аніпко О.Б., д. техн. н., професор

ДИСТРИБУТИВНИЙ ПІДХІД ДО АНАЛІЗУ ГОТОВНОСТІ АВІАЦІЙНОГО ПАРКУ З ФОРМАЛІЗАЦІЄЮ ПРИХОВАНИХ ВІДМОВ

На підставі даних про технічний стан парку авіаційної техніки збройних сил розвинутих країн США, Франція, Німеччина показує, що рівень її бойової готовності з кожним роком знижується через старіння і умови експлуатації. На даний момент рівень бойової готовності момент у багатьох випадках не більше 50 % при чому по окремих типах літальних апаратів може бути більше. У зв'язку з цим висувуються вимоги підвищення бойової готовності. В Україні дане питання також має місце, але воно ускладнюється у зв'язку з тим, що ресурс наявного парку авіаційної техніки на рівні граничного ресурсу, а іноді і переходить граничний ресурс.

Показанні два шляхи вирішення завдання і обґрунтовано що для вітчизняної авіаційної техніки прийнятним є другий шлях до чого рішення задач тільки з комплексним підходом який повинен включати аналіз типових відмов із застосуванням відомого статичного методу з допущенням найпростішого потоку відмов і урахуванням прихованих відмов для яких певний мають певні характерних ознак і розглянуто граничний випадок з урахуванням математичних труднощів вирішення завдань запропоновано підхід дозволяє отримати прийнятне рішення матричного переходу. Крім цього відмови розподіляються за ознаками фізичних процесів, що призводять до відмови відповідним розподілом їх на осі часу. Такий підхід названий дистрибутивним таким чином він враховує, як фізичний процес приводить до відмови, так і той факт, що розкладання процесів протікає з різною швидкістю, а отже, і інтенсивність буде різною.

Ключові слова: готовність техніки, відмова, прихована відмова, вірогідність відновлення, дистрибутивний підхід.

Белый М.Ф., магистр, Анипко О.Б., д. техн. н., профессор

ДИСТРИБУТИВНИЙ ПОДХІД К АНАЛІЗУ ГОТОВНОСТІ АВІАЦІЙНОГО ПАРКА С ФОРМАЛІЗАЦІЄЮ СКРИТИХ ОТКАЗОВ

На основании данных про техническое состояние парка авиационной техники вооруженных сил развитых стран США, Франция, Германия показывает, что уровень ее

боевой готовности с каждым годом снижается по причине старения и условий эксплуатации. На данный момент уровень боевой готовности момент во многих случаях не больше 50 % при чем по отдельных типах летательных аппаратов может быть больше. В связи с этим выдвигаются требования повышения боевой готовности. В Украине данный вопрос также имеет место, но оно усложняется в связи с тем, что ресурс имеющегося парка авиационной техники на уровне граничного ресурса, а иногда и переходит граничный ресурс.

Показанные два пути решения задачи и обосновано что для отечественной авиационной техники приемлемым является второй путь при чем решение задач только с комплексным подходом который должен включать анализ типичных отказов с применением известного статического метода с допущением простейшего потока отказов и учетом скрытых отказов для которых есть определенный характерных признаков и рассмотрен предельный случай с учетом математических трудностей решения задач предложено подход позволяющий получить приемлемое решение матричного перехода. Кроме этого отказы распределяются по признакам физических процессов, приводящих к отказу соответствующим распределением их на оси времени. Такой подход назван дистрибутивным таким образом он учитывает, как физический процесс приводящий к отказу, так и тот факт, что разложение процессов протекает с разной скоростью, а следовательно, и интенсивность будет разной.

Ключевые слова: готовность техники, отказ, скрытая отказ, вероятность восстановления, дистрибутивный подход.

Bilyy M.F., Anipko O.B.

DISTRIBUTIVE APPROACH TO ANALYSIS OF READINESS OF THE AVIATION PARK WITH FORMALIZATION OF HIDDEN FAILURES

Based on data on the technical condition of the aircraft fleet of the armed forces of developed countries of the USA, France, Germany, it shows that its level of combat readiness decreases every year due to aging and operating conditions. At the moment, the level of combat readiness is, in many cases, not more than 50 %, and for some types of aircraft it can be more. In this regard, demands are being raised for increased combat readiness. In Ukraine, this issue also takes place, but it is becoming more complicated due to the fact that the resource of the existing fleet of aviation equipment is at the level of the boundary resource, and sometimes it crosses the boundary resource.

The two ways of solving the problem are shown and it is justified that for domestic aviation technology the second way is acceptable, and the solution of problems is only with an integrated approach that should include the analysis of typical failures using the well-known static method with the simplest flow of failures and taking into account hidden failures for which there are certain characteristic features and the limiting case is considered, taking into account the mathematical difficulties of solving problems, an approach is proposed that allows to obtain an acceptable solution to the matrix transition. In addition, failures are distributed according to the signs of physical processes leading to failure by their corresponding distribution on the time axis. This approach is called distributive, so it takes into account both the physical process leading to failure and the fact that the decomposition of processes proceeds at different speeds, and therefore the intensity will be different.

Keywords: technical readiness, failure, latent failure, probability of recovery, distributive approach.

Вічистий А.А., ст. викладач

АНАЛІЗ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ПІДТРИМКИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПОВІТРЯНОГО СУДНА

*Харківський Національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба,
Миколаїв*

Ключові слова: підтримка експлуатації, повітряне судно, військова авіаційна техніка, технічний стан, база даних, інформаційна система.

Вступ. Авіація, як вид транспорту, займає одне з провідних місць у світі. Її значимість росте з кожним роком.

Частка авіаційного транспорту у пасажирообігу транспорту світу перевищує 10%, щорічно авіаційний транспорт перевозить понад 30 млн. тон вантажів.

Авіаційний транспорт (АТ) – це один із видів транспорту, що здійснює перевезення пасажирів, пошти і вантажів повітряним шляхом.

Велику роль АТ, як вид транспорту, відіграє у пасажирських перевезеннях, особливо в країнах з великою територією (США, РФ, Канада, Китай та інші), а також у важкодоступних районах (Аляска, Сахара, джунглі Амазонки). Головні переваги АТ над іншими видами транспорту – це заощадження часу у разі необхідності доставки термінових вантажів; маневреність та оперативність, велике охоплення територій та акваторій; можливість швидкої передислокації повітряного судна (ПС); відносно невеликі капіталовкладення (на 1 км повітряного шляху приблизно у 30 разів менше, ніж на 1 км залізничних колій); відсутність яскраво вираженої сезонності, як наприклад, у водного (річкового) транспорту.

Не є винятком і військова авіація. Для прикладу, при вирішенні задач у збройних конфліктах в Ірані, Іраці, операції "Буря в пустелі", вирішальним був авіаційний компонент.

Основу авіацій складають ПС.

ПС – це складна технічна система, яка потребує постійного моніторингу його технічного стану з ціллю визначення можливості використання за призначенням.

Технічний стан літального апарату (ЛА) в значній мірі впливає на безпеку польотів (БП), тому для підтримки заданого рівня БП, необхідно забезпечити високий рівень експлуатаційних показників та показників надійності. Одним із основних шляхів забезпечення БП є постійний моніторинг технічного стану ЛА.

На військові ПС покладені спеціальні завдання, пов'язані з виконанням бойових задач. Це підвищує рівень небезпеки їх використання, в порівнянні з цивільною авіацією. У зв'язку з цим, моніторинг технічного стану повинен бути більш глибокий, оперативний, всеохоплюючий.

Постановка проблеми. Експлуатація військової авіаційної техніки (ВАТ) суттєво відрізняється від експлуатації цивільних ПС. Це пояснюється тим, що військові ЛА виконують бойові завдання. У зв'язку з цим, виникла необхідність глибшого моніторингу технічного стану ПС, як складної технічної системи, та необхідність приділяти більшу увагу системі підтримки експлуатації.

Експлуатація ВПС поділяється на льотну та технічну експлуатацію. Льотна експлуатація регулюється нормативними документами та правилами, які експлуатанту порушувати забороняється. Технічна експлуатація організовується та проводиться відповідно до вимог керівних документів (інструкцій по технічній експлуатації, регламентів технічного обслуговування, вказівок, розпоряджень та ін.). Проте, експлуатація ВАТ в Україні має свої особливості. Вона обумовлена наявністю ПС, що виготовлені наприкінці 80–90 років минулого століття. Їх ресурсні показники наближаються до встановлених виробником меж, а терміни експлуатації збільшені понад встановлені призначені та міжремонтні строки. Дослідження показали, що це можливо, так як техніка "не долітала" (має залишок ресурсу).

Для підтримки справного та боездатного стану АТ, виникла необхідність змінити періоди, строки, обсяги робіт: цільових оглядів та перевірок (ЦОП), регламентних робіт і т.п. Для цього необхідно інтегрувати та опрацювати поступаючі інформаційні потоки та визначити дійсний технічний стан ВАТ.

Таким чином, для опрацювання даних, необхідна автоматизована система інформаційної підтримки експлуатації (СІПЕ).

На даний час, в Збройних Силах України СІПЕ існує (рис. 1), але вона має ряд суттєвих недоліків. Її основними недоліками є відсутність автоматизації та неоперативність системи.

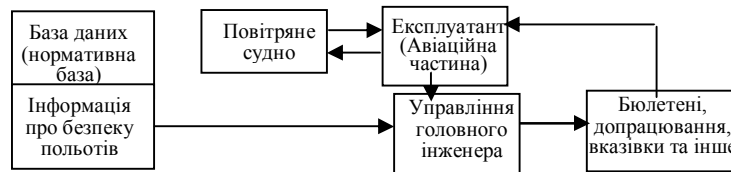


Рисунок 1 – Структура системи інформаційної підтримки експлуатації повітряного судна, що існує в Україні

Сучасний розвиток науки та техніки дозволяє автоматизувати процеси інформаційної підтримки експлуатації. Тому проблема створення СІПЕ ВАТ в Україні є вкрай актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У зарубіжних та вітчизняних джерелах опублікована достатньо велика кількість результатів наукових досліджень у сфері розробки різноманітних програмних комплексів для автоматизації управління та методів підвищення ефективності інформаційних потоків на рівні підприємства, проте недостатньо вивчені особливості практичної реалізації проектів упровадження інформаційних систем управління [9].

Аналіз літератури показав, що існує декілька систем інформаційної підтримки [1], [3], [4], [7–12]:

– Системи CMMS (Computerized Maintenance Management System) – автоматизовані системи управління (АСУ) технічним обслуговуванням і ремонтом (ТО і Р) – достатньо нескладні інформаційні системи, які націлені на управління тільки процесами ТО і Р, що суттєво зменшує їх функціональні можливості [13].

– Системи EAM (Enterprise Asset Management) – управління активами підприємства – системи спеціального призначення, які надають можливість автоматизувати весь

процес ТО і Р та процеси , що його забезпечують - такі як, управління ремонтним персоналом, матеріальну базу, поставки.

Основні споживачі АСУ класу ЕАМ – виробничі підприємства з різнорідними активами, якими важко керувати без спеціалізованої інформаційної системи. Ключові галузі, в яких переважно використовують ЕАМ-інструменти, - це енергетика, нафтогазова галузь, металургія, виробництво, телекомунікація, охорона здоров'я.

Головна відмінність між CMMS- і ЕАМ-системами в тому, що ЕАМ-системи крім таких функціональних можливостей як наявність складу запасних частин та матеріалів, формування та опрацювання заявок на постачання, планування превентивного обслуговування, облік і контроль виконаних робіт, можуть виконувати ще й такі функції, як підтримка всього життєвого циклу обладнання, сервісне обслуговування, обслуговування за технічним станом, обслуговування орієнтоване на надійність, аналіз основних причин відмов, управління технічною документацією, тобто керують всім життєвим циклом, починаючи з проектування та закінчуючи подальшим обслуговуванням, модернізацією та списанням. Але ні CMMS, ні ЕАМ-системи не враховують особливостей експлуатації ВАТ і при експлуатації ЛА по технічному стану не дають можливість визначити дійсний технічний стан ПС.

– CALS (Continuous Acquisition and Lifecycle Support) – безперервна інформаційна підтримка постачань та життєвого циклу. Описує сукупність принципів і технологій інформаційної підтримки життєвого циклу на всіх стадіях.[2]. Але і ця система не враховує особливостей експлуатації ВАТ.

Таким чином, СІПЕ існують, але жодна з них не може бути використана для підтримки експлуатації ВАТ, так як не враховує особливостей експлуатації військових ПС. Основним недоліком наведених вище видів інформаційних систем є обмеженість в функціональності та неможливість визначення дійсного технічного стану складної технічної системи, якою є ПС.

Тому для підвищення ефективності експлуатації АТ, необхідне створення СІПЕ ПС, яка буде враховувати особливості експлуатації ВАТ та поєднувати управління експлуатацією, її автоматизацію, управління персоналом, матеріальною базою, поставками, інтеграцію всіх модулів та можливість визначення дійсного технічного стану ПС.

Проаналізувавши все вищенаведене, можна прийти до висновку, що СІПЕ ПС повинна відповідати наступним основним критеріям: оперативність, глибина моніторингу, накопичення та збереження інформації, прогнозування технічного стану, вироблення рішень для управління процесом експлуатації.

Метою даної роботи є аналіз структури системи підтримки експлуатації ПС для створення обрису нової інформаційної системи підтримки експлуатації ВАТ України. **Об'єктом** дослідження виступає процес експлуатації ВАТ. **Предметом** дослідження є автоматизована СІПЕ військових ПС.

Виклад основного матеріалу досліджень. ВАТ, відповідно до свого призначення, виконує певні бойові завдання. Це пояснюється наявністю специфічних систем, які відсутні на цивільних ПС. Для якісного їх виконання, на військових ЛА встановлене спеціальне обладнання, системи (система наведення, система управління озброєнням, засоби радіоелектронної боротьби та інше).

Експлуатація ВАТ – складний процес, який підпорядковується певним правилам та має ряд особливостей.

В процесі експлуатації, на ВАТ впливають різні зовнішні та внутрішні фактори (значні перевантаження, великі швидкості польоту, старіння матеріалу і, як наслідок, зміна його фізико-хімічних властивостей), які в свою чергу накладають відповідні експлуатаційні обмеження. У зв'язку з цим, виникає необхідність використання систем, які попереджають і не допускають вихід за експлуатаційні обмеження.

Основною та найважливішою особливістю експлуатації військового ПС – є спроможність ефективного використання його бойових можливостей.

Для ефективного використання військової АТ, дуже важливим є комплексне функціонування всіх підсистем складної технічної системи, якою являється ПС, тобто врахування усіх особливостей експлуатації ВАТ.

Проаналізувавши все вищенаведене, СІПЕ ПС можна структурувати наступним чином.

Функціонально, систему можна умовно поділити на чотири структурних модулі, які взаємопов'язані між собою. Перший модуль – це інформаційна база даних (БД). До її складу входять – інформаційна БД безпеки польотів та експлуатаційна електронна БД (електронна пономерна документація; інтегрована база даних числових значень поточних контрольних параметрів при виконанні цільових оглядів та перевірок, регламентних робіт; інтегрована БД про відмови та авіаційні події, що пов'язані з відмовами АТ; електронна експлуатаційна документація ПС). Другий – це модуль прогнозування технічного стану військового ПС, вхідними даними для якого є інтегровані інформаційні потоки БД. Дані прогнозу технічного стану ЛА дають можливість вірно відпрацювати рішення на зміну періодів, строків, обсягів робіт на АТ. Третій – це модуль відпрацювання керівним інженерним складом технічного рішення щодо порядку експлуатації ВПС. Він тісно пов'язаний функціональними зв'язками із двома вищезазначеними модулями. Основною задачею цього модуля є організація та управління технічною експлуатацією ПС. Четвертий модуль – це інформація про логістичне забезпечення. Дані про логістичне забезпечення передаються в модуль інформаційної БД, де інтегруються з іншими інформаційними потоками.

Особливістю модулів системи є часткова або повна автоматизація покладених на них функціональних завдань та їх інтеграція, що призводить до зменшення працевитрат і підвищення ефективності та безпеки експлуатації.

Основною відмінністю запропонованої СІПЕ ПС від існуючої – є створення електронної інформаційної БД, яка дає можливість визначити дійсний технічний стан ЛА.

Проте досягнення науки та техніки дозволяють нам створити інформаційну БД, яка буде доступна не тільки одному експлуатанту (авіаційній частині), але й іншому інженерно-технічному складу, що експлуатує даний тип ВАТ. Це дозволить забезпечити оперативність інформування усіх ланок управління експлуатацією про дійсний технічний стан конкретного літального апарату.

Висновки. Аналіз літератури показав, що відомі системи інформаційної підтримки експлуатації не підходять для ВАТ України.

Система експлуатації ВАТ України має низку особливостей. ПС що експлуатуються, виготовлені наприкінці 80–90 років минулого століття. Їх ресурсні показники наближаються до встановлених виробником меж, а терміни експлуатації збільшені понад встановлені призначені та міжремонтні терміни. Таким чином, для підтримки безпеки польотів ВАТ на заданому рівні, необхідна СІПЕ ПС, яка буде враховувати особливості експлуатації.

Експлуатація військових ПС ЗСУ не має автоматизованої СІПЕ. Існуюча же СІПЕ ПС не враховує індивідуальних умов експлуатації військового ЛА. Особливості експлуатації ВАТ визначили критерії, яким повинна відповідати автоматизована СІПЕ ПС. Тому пропонується створити автоматизовану СІПЕ ПС, основною відмінністю якої від існуючих - є наявність електронної бази даних, системи збору, накопичення та розповсюдження інформації про дійсний технічний стан кожного конкретного ПС.

Таким чином, запропонована система дозволить вирішити актуальну для авіації Повітряних Сил Збройних Сил України науково-практичну задачу по створенню СІПЕ ЛА в авіації Повітряних Сил Збройних Сил України з метою підвищення ефективності етапу експлуатації життєвого циклу ПС, за рахунок ідентифікації дійсного технічного стану ПС та оптимізації планування експлуатації, матеріально-технічного забезпечення та оперативності інформування усіх ланок управління ЗС України про технічний стан та інші показники літаків авіації ПС ЗС України.

Література

1. Антоненко И. Н., Крюков И. Э. Информационные системы и практики ТО и Р: Этапы развития // Главный энергетик. 2011. № 10. С. 21–28.
2. Давыдов А.Н., Барабанов В.В., Судов Е.В. CALS-технологии: основные направления развития // Стандарты и качество. 2008. № 7.
3. Информационные технологии: Учебник. М.: Юрайт. 2011. 624 с.
4. Закон України “Про захист інформації в інформаційно-телекомунікаційних системах” від 05.07.1994 № 80/94-ВР
5. Колчин А.Ф., Овсянников М.В., Стрекалов А.Ф., Сумароков С.В. Управление жизненным циклом продукции // Москва: Анахарсис. 2002. 304 с.
6. Ляшко Д.Ю. Сучасні маркетингові інформаційні системи і технології як засіб підвищення конкурентоспроможності підприємства // Д.Ю. Ляшко [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://www.rusnauka.com/9_DN_2010/Economics/53561.doc.htm.
7. Маглинец Ю.А. Разработка информационных систем. Часть 1. Структурные методы // Красноярск: Кларитеанум. 2004. 120 с.
8. Маглинец Ю.А. Анализ требований к информационным системам. Конспект лекций // Красноярск: СФУ. 2007.
9. В. Святененко, І. Нетреба. Практичні аспекти впровадження інформаційних систем управління на вітчизняних підприємствах // Економіка. ВІСНИК Київського національного університету імені Тараса Шевченка. 2012. №137. С. 26–30.
10. Садовская Т.Г. Системы управления жизненным циклом изделий и возможности их применения в отрасли энергетики // Т.Г. Садовская, Т.Н. Чернышова. Аудит и финансовый анализ. 2010. №6. С. 328–341.
11. Piotr Barsz-cz, Paweł Gołda, Mariusz Zieja. System Informatycznego Wsparcia Eksploatacji Wojskowych Statków Powietrznych // Logistyka. 2012. # 4. С. 47–56.
12. KALETA Ryszard, ZIEJA Mariusz, WITOŚ Mirosław. System informatycznego wsparcia Lotnictwa Sił Zbrojnych RP. // Logistyka. 2014. #6.-С. 5094–5103.
13. TADVISER, CMMS Computerized Maintenance Management System. Системы компьютерного управления обслуживанием оборудования // [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.tadviser.ru/index.php>.

Bibliography (transliterated)

1. Antonenko I.N., Kriukov I.E. Informatsionnyie sistemy i praktiki TO i R. Etapy razvitiia // glavnyi energetik. 2011. #10. P. 21–28.
2. Davydov A.N., Barabanov V.V., Sudov E.V. CALS-tehnologii: osnovnyie napravleniia razvitiia // Standarty i kachestvo. 2008. #7.
3. Informatsionnyiei tehnologii : uchebnik. M.:Yurait. 2011. 624 p.
4. Zakon Ukrainy “Pro zakhyst informatsii v informatsiino-telekomunikatsiinykh systemakh” vid 05.07.1994 #80/94-VR.
5. Kolchyn A.F., Ovsianikov M.V., Strelkov S.F., Sumarokov S.V. Upravleniie zhyznennym tsyklom produktsii // Moskva: Anakharsis. 2002. 304 p.
6. Liashko D.Yu. Suchasni marketynhovi informatsiini systemy i tekhnologii yak zasib pidvyshchennia konkurentospromozhnosti pidpriemstva // D.Yu. Liashko [Elektronnyi resurs]. rezhym dostupu.: http://www.rusnauka.com/9_DN_2010/Economics/53561.doc.htm.
7. Mahlinets Yu.A. Razrabotka informatsionnykh sistem. Chast 1, Strukturnyie metody // Krasnoiarsk: Klariteanum. 2004. 120 p.
8. Mahlinets Yu.A. Analiz vymoh do informatsiynykh sistem. Konspekt lektsii. – Krasnoiarsk. SFU. 2007.
9. V. Sviatenko, I. Ntreba, Praktychni aspekty vprovadzhennia informatsiynykh sistem upravlinnia na vitchyznianykh pidpriemstvakh // Ekonomika. VISNYK Kyivskoho natsionalnogo universynenu imeni Tarasa Shevchenka. 2012. #137. P. 26–30.
10. Sadovskaia T.H. Sistemy upravleniia zhizniennym tsiklom izdeliia i vozmozhnosti ikh primeneniianiia v otrasli enerhetiki // T.H. Sadovskaia, T.N. Chernyshova. Audit i finansovy analiz. 2010. #6. P. 328–341.
11. Piotr Barsz-cz, Paweł Gołda, Mariusz Zieja, System Informatycznego Wsparcia Eksploatacji Wojskowych Statków Powietrznych.// Logistyka. 2012. # 4. P. 47–56.
12. KALETA Ryszard, ZIEJA Mariusz, WITOŚ Mirosław, System informatycznego wsparcia Lotnictwa Sił Zbrojnych RP.// Logistyka. 2014. #6. P. 5094-5103.
13. TADVISER, CMMS Computerized Maintenance Management System. Sistiemy kompiuternoho upravleniia obsluzhivaniia oborudovaniia // [Elektronnyi riesurs]. rezhym dostupu: <http://www.tadviser.ru/index.php>.

УДК 659.2:623.7

Вічистий А.А., ст. викл.

АНАЛІЗ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ПІДТРИМКИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПОВІТРЯНОГО СУДНА

Авіація, як вид транспорту, займає одне з провідних місць в системі перевезень. Основу авіації складають повітряні судна. Технічний стан авіаційної техніки в значній мірі впливає на безпеку польотів повітряного судна. Для підтримання заданого рівня справності та безпеки польотів необхідно забезпечити високий рівень експлуатаційних показників та показників надійності. Одним із основних шляхів забезпечення безпеки польотів є постійний моніторинг технічного стану літального апарату.

Експлуатація військової авіаційної техніки має низку особливостей. У зв'язку з цим, моніторинг технічного стану повинен бути більш глибокий, оперативний, всеохо-

плюючий. Це все можна реалізувати при використанні системи інформаційної підтримки експлуатації. Провівши аналіз структури існуючих систем інформаційної підтримки експлуатації можна прийти до висновку, що жодна з них не може бути використана для підтримки експлуатації військової авіаційної техніки, так як не враховує особливостей експлуатації військових повітряних суден. Таким чином, необхідно створити автоматизовану систему інформаційної підтримки експлуатації повітряного судна, для Повітряних Сил Збройних Сил України, яка буде відповідати наступним критеріям: оперативність, глибина моніторингу, накопичення та збереження інформації, прогнозування технічного стану, вироблення рішень для управління процесом експлуатації. Функціонально, запропоновану систему можна умовно поділити на чотири структурних модулі, які взаємопов'язані між собою. Перший модуль – це інформаційна база даних. Другий – це модуль прогнозування технічного стану військового повітряного судна. Третій – це модуль відпрацювання керівним інженерним складом технічного рішення щодо порядку експлуатації військового повітряного судна. Четвертий модуль – це інформація про логістичне забезпечення.

Запропонована система дозволить вирішити актуальну, для авіації Повітряних Сил Збройних Сил України науково-практичну, задачу по створенню системи інформаційної підтримки експлуатації літального апарату в авіації Повітряних Сил Збройних Сил України.

Ключові слова: підтримка експлуатації, повітряне судно, військова авіаційна техніка, технічний стан, база даних, інформаційна система.

Вичистый А.А., ст. преподаватель

АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОЗДУШНОГО СУДНА

Авиация, как вид транспорта, занимает одно из ведущих мест в системе перевозок. Основу авиации составляют воздушные суда. Техническое состояние авиационной техники в значительной степени влияет на безопасность полетов воздушного судна. Для поддержания заданного уровня исправности и безопасности полетов необходимо обеспечить высокий уровень эксплуатационных показателей и показателей надежности. Одним из основных путей обеспечения безопасности полетов является постоянный мониторинг технического состояния летательного аппарата.

Эксплуатация военной авиационной техники имеет ряд особенностей. В связи с этим, мониторинг технического состояния должен быть более глубокий, оперативный, всеобъемлющий. Это все можно реализовать при использовании системы информационной поддержки эксплуатации. Проведя анализ структуры существующих систем информационной поддержки эксплуатации можно прийти к выводу, что ни одна из них не может быть использована для поддержки эксплуатации военной авиационной техники, так как не учитывает особенностей эксплуатации военных воздушных судов. Таким образом, необходимо создать автоматизированную систему информационной поддержки эксплуатации воздушного судна, для Воздушных Сил Вооруженных Сил Украины, которая будет соответствовать следующим критериям: оперативность, глубина мониторинга, накопление и хранение информации, прогнозирование технического состояния, выработка решений для управления процессом эксплуатации. Функціонально, запропоновану систему можна умовно розділити на чотири структурних модуля, которые

взаємозв'язані між собою. Перший модуль – це інформаційна база даних. Другий – це модуль прогнозування технічного стану військового літального судна. Третій – це модуль обробки керівним інженерним складом технічного рішення про порядок експлуатації військового літального судна. Четвертий модуль – це інформація про логістичне забезпечення.

Предложена система дозволить вирішити актуальну, для авіації Військово-повітряних Сил Збройних Сил України, науково-практичну задачу по створенню системи інформаційної підтримки експлуатації літального апарату в авіації Військово-повітряних Сил Збройних Сил України.

Ключевые слова: підтримка експлуатації, літальне судно, військова авіаційна техніка, технічний стан, база даних, інформаційна система.

Vichisty A.A., senior lecturer

ANALYSIS OF THE STRUCTURE OF THE INFORMATION SYSTEM FOR SUPPORTING OPERATIONS OF THE AIRCRAFT EXPLOITATION

Aviation, as a method of transport, occupies one of the leading positions in the transportation system. The basis of aviation is aircraft. The technical state of aviation technology has a significant impact on the safety of aircraft operations. In order to maintain the required level of airworthiness and safety, a high level of performance and reliability must be ensured. One of the main ways to ensure flight safety is a constantly monitoring the technical condition of the aircraft.

Supporting operations of military aviation equipment exploitation has a number of features. In this regard, the monitoring of the technical state should be more in-depth, operational and comprehensive. This can be implemented by using the information system for supporting operations of exploitation. By analyzing the structure of existing information systems for supporting operations of exploitation, we can conclude that none of them can be used for supporting operations of military aviation equipment exploitation, since it does not take into account the peculiarities of the exploitation of military aircraft. Thus, it is necessary to create an automated information system for supporting operations of aircraft exploitation, for the Air Force of Ukraine, which will meet the following criteria: efficiency, depth of monitoring, accumulation and storage of information, forecasting of technical state, making decisions for managing the process of operation. Functionally, the proposed system can be divided into four structural modules, which are interconnected. The first module is an information database. The second is a module for predicting the technical state of a military aircraft. The third is the module of working out by the leading engineering staff the technical decisions of the order for operations of the military aircraft exploitation. The fourth module is logistics information.

The proposed system will solve the actual scientific problem for the Air Forces of the Armed Forces of Ukraine on the creation the information system for supporting operations of the aircraft exploitation in the Air Forces of the Armed Forces of Ukraine.

Keywords: supporting operations of exploitation, aircraft, military aviation equipment, technical state, database, information system.

Плешкунов С.А., ст. викладач

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ІОННО-ПЛАЗМОВИХ МЕТОДІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ВТОМНОЇ МІЦНОСТІ ТРИБОСИСТЕМ

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба

Ключові слова: контактна втомна міцність, іонно-плазмові методи, цементация, азотування.

Часто ресурс агрегатів і деталей визначається здатністю уникати втомного руйнування поверхонь тертя завдяки контактній міцності матеріалу. А вона може бути підвищена шляхом зниження механічних і термічних впливів на контактуючі поверхні внаслідок їх деформації при терті [1].

Серед таких методів широко використовуються хіміко-термічні методи цементации. Також для цього застосовують азотування, хоча і в меншій мірі. Це пов'язано з уявленнями про перевагу цементации перед азотуванням у формуванні зміцнених шарів великої протяжності.

Але на даний час розроблені і застосовуються нові методи азотування, які мають значні переваги над цементацией. Але для оцінки експлуатаційних показників конструкційних матеріалів, зміцнених за новими методами, необхідно проведення довготривалих випробувань на втомну міцність на машинах тертя, які моделюють роботу таких спряжень. Такий стан питання обумовлює обмежену кількість досліджень по впливу азотування на величину контактної міцності матеріалів, особливо іонно-плазмовими методами азотування, які мають істотні відмінності та переваги перед традиційними пічними методами газового азотування [2–7].

В Україні проводяться інтенсивні дослідження і розробки багатокомпонентних багатофункціональних покриттів та методів їх нанесення на поверхні з прецизійною обробкою, яку потребують деталі вузлів сучасних агрегатів літакобудування, космічної техніки та інших галузей [6–8]. Такі ж дослідження проводяться і за кордоном [9–12]. Розробляються і методи прискорених випробувань таких високоміцних трибо спряжень, що також відкриває перспективи подальшого їх поширення [13].

Широко використовуємі в промисловому виробництві АТ «ФЕД» методи плазмового прецизійного азотування «Авініт N» [5–7], мають істотні відмінності і переваги перед традиційними грубними методами газового азотування, а саме:

- значне скорочення (в 2–3 рази) тривалості дифузійного насичення азотом поверхневого шару сплавів на основі заліза при загальному скороченні часу технологічного циклу обробки до 3–5 разів;
- дозволяють повністю уникнути водневої крихкості;
- забезпечують збереження розмірів (азотування «в розмір») і високу чистоту обробки поверхні, зниження крихкості азотованого шару і формування нітридних зон всіх складів без пір, внаслідок чого не потрібно доопрацювання поверхні після азотування.

Застосування ж традиційних методів газового азотування вимагає проведення дуже трудомістких, складних операцій високоточного механічного шліфування, як, наприклад, при виготовленні деталей зубчастих передач високої точності. При цьому, че-

рез формування крихкого нітридного шару необхідно, часом, зішліфувати його на глибину до 0,1 мм, що може становити значну частину всього зміцненого шару і як наслідок, істотно погіршення механічних характеристик.

Автором проводилися трибологічні дослідження впливу плазмового азотування за технологією АТ «ФЕД» на контактну міцність від втоми сталі 20Х3МВФ ГОСТ 20072 при терті кочення з проковзуванням поверхонь і порівняння отриманих результатів з контактною втомною міцністю такої ж сталі, зміцненої за традиційною технологією газової цементації. Вони показали, що зносостійкість зразків, зміцнених азотуванням «Авініт N», істотно вище, ніж зразків, зміцнених традиційною цементацією.

В середньому по чотирьом випробуванням, пари зразків до утворення початкових осередків втомного викришування відпрацювали:

- зміцнені азотуванням «Авініт N» – 97875 циклів;
- зміцнені газовою цементацією – 53812 циклів.

Інтегральна багатоциклова стійкість до втомного зношування (руйнування) зразків, зміцнених азотуванням «Авініт N», більш ніж в 10 разів вище, ніж у зміцнених цементацією. Це пов'язано з механізмами втомного руйнування цементованих зразків (вищерблення по межі дефекту). Результати досліджень можуть служити основою для проведення дослідних робіт з використання іонно-плазмових технологій азотування замість цементування з метою підвищення контактної міцності поверхні деталей, беручи до уваги також такі переваги цієї технології, як збереження розмірів та високої чистоти обробки поверхонь, внаслідок чого відпадає необхідність їх механічної доробки після зміцнення.

Література

1. Ибатуллин И.Д. Кинетика усталостной повреждаемости и разрушения поверхностных слоев: монография / И.Д. Ибатуллин. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2008. – 387 с.
2. Пастух І.М. Вплив режимних параметрів азотування у тліючому розряді на товщину нітридної зони модифікованого шару / І.М. Пастух, Г.М. Соколова, О.С. Здибель // Вісник Хмельницького національного університету, 2014, №4 (215). – С. 130–134.
3. Могильная Е.П. Ионное азотирование изделий из конструкционной стали 38ХМФА / Е.П. Могильная, В.М. Дубасов // Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні, 2013, №1. – С. 193-198.
4. Костик К.О. Порівняльний аналіз впливу газового та іонно-плазмового азотування на зміну структури і властивості легованої сталі 30Х3ВА / К.О. Костик, В.О. Костик // Вісник Нац. техн. ун-ту «ХПІ»: зб. наук. пр. Темат. вип. : Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2014. – №48 (1090). – С. 21-41.
5. Сагалович О.В., Сагалович В.В. Спосіб іонно-плазмового прецизійного азотування поверхонь сталей та сплавів Avinit N. Pat. UA №84664 від 25.10.13.
6. Сагалович О.В., Сагалович В.В. Спосіб іонно-плазмового прецизійного азотування поверхонь сталей та сплавів Avinit N. Pat. UA №107408 від 28.12.14.
7. Sagalovich V.V., Sagalovich, A.V. The method of ion-plasma precision nitriding of the surfaces of metal products, Patent 2555692, Russian Federation, C23C8/36 (H01J 37/00), C23C14/48, stated 27.12.2014; publ. 10.07.2015, Bull. No. 19, 13 p.
8. Сагалович А.В. Разработка многокомпонентных покрытий для повышения износостойкости поверхностей пар трения в прецизионных узлах / Сагалович А.В., Дуд-

ник С.Ф., Сагалович В.В., Кононыхин А.В., Попов В.В., Любченко А.П., Олейник А.К. // Физическая инженерия поверхности. – 2007. – Т. 5, № 3–4. – С. 155–164.

9. Amiri M. On the thermodynamics of friction and wear – a review / M. Amiri, M.M. Khonsari // Entropy. Vol. 12, – 2010. – P. 1021–1049.

10. Yunhui M. Research on friction-coatings with activated ultra-thick tin-base / M. Yunhui, T. Dehua, W. Xicheng, L. Qinghua // Advanced Tribology. – 2010. – P. 915–919.

11. Gromakovsky D.G. Problems of Kinetics of Surface Destruction / D.G. Gromakovsky, A.G. Kovshov, I.D. Ibatullin, A.V. Dynnikov // Proceedings of VII-th International Symposium "INTERTRIBO 2002", section B – Wear. – Slovak Republic, Stara Lesna: House of Technology, 2002. – P. 57–58.

12. Gromakovsky D.G. Modelling and Wear Calculation on Friction / D.G. Gromakovsky, A.N. Malyarov, Y.P. Samarin // Abstracts of Papers of the World Tribology Congress. – Bath, UK: Bookcraft Limited, 1997. – 462 p.

13. Стадниченко В.М. Методика прискороної оцінки проказників втомної пошкоджуваності конструкційних матеріалів / В.М. Стадниченко, Р.М. Джус, С.А. Плешкунов // Системи озброєння і військова техніка. – 2019. – № 2(58). – С. 122–131. <https://doi.org/10.30748/soivt.2019.58.15>.

Bibliography (transliterated)

1. Ibatullin I.D. Kinetika ustalostnoy povrezhdaemosti i razrusheniya poverhnostnyih sloev: monografiya / I.D. Ibatullin. – Samara: Samar. gos. tehn. un-t, 2008. – 387 p.

2. Pastuh I.M. Vpliv rezhimnih parametriv azotuvannya u tliyuchoму rozryadi na tovschinu nitridnoyi zoni modifikovanogo sharu / I.M. Pastuh, G.M. Sokolova, O.S. Zdibel // Вісник Хмельницького національного університету, 2014, #4 (215). – P. 130–134.

3. Mogilnaya E.P. Ionnoe azotirovanie izdeliy iz konstruktsionnoy stali 38HMFA / E.P. Mogilnaya, V.M. Dubasov // Resursozberigayuchi tehnologiyi virobnitstva ta obrobki tiskom materIaliv u mashinobuduvanni, 2013, #1. – P. 193–198.

4. Kostik K.O. Porivnyalniy analiz vplivu gazovogo ta ionno-plazmovogo azotuvannya na zminu strukturi i vlastivosti legovanoi stali 30H3VA / K.O. Kostik, V.O. Kostik // Вісник Нав. техн. ун-ту «НПІ»: зб. наук. пр. Темат. вип.: Нови рiшення в сучасних технологiях. – Харків: НТУ «НПІ». – 2014. – #48 (1090). – P. 21–41.

5. Sagalovich O.V., Sagalovich V.V. Sposib ionno-plazmovogo pretsiziynogo azotuvannya poverhon staley ta splaviv Avinit N. Pat. UA #84664 vid 25.10.13.

6. Sagalovich O.V., Sagalovich V.V. Sposib ionno-plazmovogo pretsiziynogo azotuvannya poverhon staley ta splaviv Avinit N. Pat. UA #107408 vid 28.12.14.

7. Sagalovich V.V., Sagalovich, A.V. The method of ion-plasma precision nitriding of the surfaces of metal products, Patent 2555692, Russian Federation, C23C8/36 (H01J 37/00), C23C14/48, stated 27.12.2014; publ. 10.07.2015, Bull. No. 19, 13 p.

8. Sagalovich A.V. Razrabotka mnogokomponentnyih pokrytiy dlya povyisheniya iznosostoykosti poverhnostey par treniya v pretsizionnyih uzlah / Sagalovich A.V., Dudnik C.F, Sagalovich V.V., Kononyihin A.V., Popov V.V., Lyubchenko A.P., Oleynik A.K. // Физическая инженерия поверхности. – 2007. – Т. 5, # 3–4. – P. 155–164.

9. Amiri M. On the thermodynamics of friction and wear – a review / M. Amiri, M.M. Khonsari // Entropy. Vol. 12, – 2010. – P. 1021–1049.

10. Yunhui M. Research on friction-coatings with activated ultra-thick tin-base / M. Yunhui, T. Dehua, W. Xicheng, L. Qinghua // *Advanced Tribology*. – 2010. – P. 915–919.
11. Gromakovsky D.G. Problems of Kinetics of Surface Destruction / D.G. Gromakovsky, A.G. Kovshov, I.D. Ibatullin, A.V. Dynnikov // *Proceedings of VII-th International Symposium "INTERTRIBO 2002"*, section B – Wear. – Slovak Republic, Stara Lesna: House of Technology, 2002. – P. 57–58.
12. Gromakovsky D.G. Modelling and Wear Calculation on Friction / D.G. Gromakovsky, A.N. Malyarov, Y.P. Samarin // *Absrtacts of Papers of the World Tribology Congress*. – Bath, UK: Bookcraft Limited, 1997. – 462 p.
13. Stadnichenko V.M. Metodika priskorenoyi otsinki prokaznikov vtomnoyi po-shkodzhuvanosti konstruktsiynih materialiv / V.M. Stadnichenko, R.M. Dzhus, S.A. Pleshkunov // *Sistemi ozbroennya i viyskova tehnika*. – 2019. – # 2(58). – P. 122–131. <https://doi.org/10.30748/soivt.2019.58.15>.

УДК 621.9.031

Плешкунов С.А., ст. викладач

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ІОННО-ПЛАЗМОВИХ МЕТОДІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ВТОМНОЇ МІЦНОСТІ ТРИБОСИСТЕМ

В Україні та світі зараз проводяться інтенсивні дослідження і розробки багатокомпонентних багатофункціональних покриттів та методів їх нанесення на поверхні з прецизійною обробкою, яку потребують деталі вузлів сучасних агрегатів літакобудування, космічної техніки та інших галузей. Широко використовуємо в промисловому виробництві АТ «ФЕД» методи плазмового прецизійного азотування «Авініт N», мають істотні відмінності і переваги перед традиційними грубними методами газового азотування, а саме: значне скорочення тривалості дифузійного насичення азотом поверхневого шару сплавів на основі заліза при загальному скороченні часу технологічного циклу обробки до 3–5 разів; дозволяють повністю уникнути водневої крихкості; забезпечують збереження розмірів (азотування «в розмір») і високу чистоту обробки поверхні, зниження крихкості азотованого шару і формування нітридних зон всіх складів без пір, внаслідок чого не потрібно доопрацювання поверхні після азотування. У статті наведено результати трибологічних досліджень впливу плазмового азотування за технологією АТ «ФЕД» на контактну міцність від втоми сталі 20ХЗМВФ ГОСТ 20072 при терті кочення з проковзуванням поверхонь і порівняння отриманих результатів з контактною втомною міцністю такої ж сталі, зміцненої за традиційною технологією газової цементації. Вони показали, що зносостійкість зразків, зміцнених азотуванням «Авініт N», істотно вище, ніж зразків, зміцнених традиційною цементацією. Інтегральна багатоциклова стійкість до втомного зношування (руйнування) зразків, зміцнених азотуванням «Авініт N», більш ніж в 10 разів вище, ніж у зміцнених цементацією. Це пов'язано з механізмами втомного руйнування цементованих зразків (вищерблення по межі дефекту). Результати досліджень можуть служити основою для проведення дослідних робіт з використання іонно-плазмових технологій азотування замість цементування з метою

підвищення контактної міцності поверхні деталей, беручи до уваги також такі переваги цієї технології, як збереження розмірів та високої чистоти обробки поверхонь, внаслідок чого відпадає необхідність їх механічної доробки після зміцнення.

Ключові слова: контактна втомна міцність, іонно-плазмові методи, цементация, азотування.

Плешкунов С.А., ст. преподаватель

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ ТРИБОСИСТЕМ

В Украине и мире сейчас проводятся интенсивные исследования и разработки многокомпонентных функциональных покрытий и методов их нанесения на поверхности с прецизионной обработкой, которую требуют детали узлов современных агрегатов самолетостроения, космической техники и других отраслей. Широко используемый в промышленном производстве АО «ФЭД» методы плазменного прецизионного азотирования «Авинит N», имеют существенные отличия и преимущества перед традиционными печными методами газового азотирования, а именно: значительное сокращение продолжительности диффузионного насыщения азотом поверхностного слоя сплавов на основе железа при общем сокращении времени технологического цикла обработки до 3-5 раз; позволяют полностью избежать водородной хрупкости; обеспечивают сохранение размеров (азотирование «в размер») и высокую чистоту обработки поверхности, снижение хрупкости азотированного слоя и формирования нитридных зон всех составов без пор, вследствие чего не требуется доработка поверхности после азотирования. В статье приведены результаты трибологических исследований влияния плазменного азотирования по технологии АО «ФЭД» на контактную прочность от усталости стали 20Х3МВФ ГОСТ 20072 при трении качения с проскальзыванием поверхностей и сравнение полученных результатов с контактной усталостной прочностью такой же стали, упрочненной по традиционной технологии газовой цементации. Они показали, что износостойкость образцов, усиленных азотированием «Авинит N», существенно выше, чем образцов, упрочненных традиционной цементацией. Интегральная многоцикловая стойкость к усталостному износу (разрушению) образцов, упрочненных азотированием «Авинит N», более чем в 10 раз выше, чем в упрочненных цементацией. Это связано с механизмами усталостного разрушения цементируемых образцов (выкрашивание по границе дефекта). Результаты работы могут служить основой для проведения исследовательских работ по использованию ионно-плазменных технологий азотирования вместо цементирования с целью повышения контактной прочности поверхности деталей, учитывая также такие преимущества этой технологии, как сохранение размеров и высокой чистоты обработки поверхностей, в результате чего отпадает необходимость их механической доработки после упрочнения.

Ключевые слова: контактная усталостная прочность, ионно-плазменные методы, цементация, азотирование.

Pleshkunov S.A., Senior Lecturer

PROSPECTS FOR THE APPLICATION OF ION-PLASMA METHODS FOR INCREASING THE FATIGUE STRENGTH OF TRIBOSYSTEMS

Intensive research and development of multicomponent functional coatings and methods of their application on the surface with precision processing, which is required by the components of modern units of aircraft construction, space technology and other industries, are now being carried out in Ukraine and in the world. The Avinit N plasma precision nitriding methods widely used in industrial production of JSC FED have significant differences and advantages over traditional furnace methods of gas nitriding, namely: a significant reduction in the duration of diffusion saturation with nitrogen of the surface layer of iron-based alloys with an overall reduction in the technological time processing cycle up to 3-5 times; completely avoid hydrogen embrittlement; ensure dimensional preservation (nitriding “to size”) and high surface finish, reduction of the brittleness of the nitrided layer and the formation of nitride zones of all compositions without pores, as a result of which surface refinement after nitriding is not required. The article presents the results of tribological studies of the effect of plasma nitriding according to JSC FED technology on the contact strength from fatigue of steel 20X3MVF GOST 20072 during rolling friction with slipping surfaces and comparing the results with the contact fatigue strength of the same steel hardened by traditional gas cementation technology. They showed that the wear resistance of specimens reinforced with Avinit N nitriding is significantly higher than that of specimens hardened by traditional carburizing. The integrated multi-cycle resistance to fatigue wear (fracture) of samples hardened by nitriding Avinit N is more than 10 times higher than that hardened by cementation. This is due to the mechanisms of fatigue failure of cemented samples (spalling along the boundary of the defect). The results of the work can serve as the basis for conducting research on the use of ion-plasma nitriding technologies instead of cementing in order to increase the contact strength of the surface of the parts, taking into account also the advantages of this technology, such as maintaining the size and high purity of the surface treatment, as a result of which there is no need for their mechanical refinement after hardening.

Keywords: contact fatigue strength, ion-plasma methods, cementation, nitriding.

Шепеленко А.М., курсант

КЛАСИФІКАЦІЯ І АНАЛІЗ СТРУКТУРИ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПОВІТРЯНОГО СУДНА

Харківський національний університет Повітряних сил ім. І. Кожедуба, Харків

Ключові слова: інформаційна система, життєвий цикл, експлуатація, CMMS, EAM, технічний огляд, ремонт, класифікація.

Постановка проблеми. Розвиток сучасного суспільства змінює умови функціонування і вимагає нового підходу до створення і використання вже розроблених інформаційних систем. Різноманітність функцій і велике коло учасників систем пояснює високу інтенсивність потоків інформації на всіх етапах їх життєвого циклу. В даний час все більш активно інформаційні системи впроваджуються в процеси проектування, створення програми по обробці і розрахунку електронних моделей елементів складних виробів, його виробництва (використання новітнього обладнання). Більша частина життєвого циклу виробів доводиться саме на етап експлуатації. Різноманітність технічних систем в цілому і транспортних засобів зокрема, приводить до великого різноманіття інформаційних систем, які в загальному відрізняються своєю функціональністю.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Кінець ХХ, початок ХХІ століття, пов'язаний зі стрімким розвитком інформаційних технологій, поклав початок принципово новому підходу в застосуванні інформаційних систем, який полягає в створенні технічних систем, що містять в собі всі відомості про майбутній або вже реалізований проект. В [1–4] визначено основні технології формування інтегрованої логістичної підтримки технічних виробів, управління комп'ютерними технологіями на етапах життєвого циклу виробу. В [5–7] висвітлені основні підходи, що використовуються для існування інформаційних технологій.

Метою даної роботи є аналіз існуючих систем інформаційної підтримки експлуатації технічних систем для їх класифікації.

Виклад основного матеріалу досліджень.

Поняття інформаційної системи в українському законодавстві відсутнє, тоді як в Законі України “Про захист інформації в інформаційно-телекомунікаційних системах” міститься декілька похідних понять за видами систем, як: інформаційна (автоматизована) система – організаційно-технічна система, в якій реалізується технологія обробки інформації з використанням технічних і програмних засобів; інформаційно-телекомунікаційна система – сукупність інформаційних та телекомунікаційних систем, які у процесі обробки інформації діють як єдине ціле [13].

Що стосується галузей промисловості, таких як транспорт, експлуатація військової техніки, авіація, то інформаційну систему необхідно розглядати як середовище, в якому впроваджено автоматизовану обробку інформації. Тому що, без певного рівня автоматизації інформаційна система фактично не існує [14].

В загальному, така технічна система складається з трьох компонентів:

1. Технічна система;

2. Система експлуатації і управління;
3. Сервісне обслуговування.

Такі системи мають загальні елементи, до яких відноситься: управління основними даними (Master Data), тобто каталог обладнання, облік руху обладнання і вузлів, архів документів, карти технічного обслуговування; управління обладнанням (Asset Performance Management), а саме управління заявками, періодичне обслуговування, обслуговування по стану, наряд допуску, розбір аварійних ситуацій, облік і аналіз простоїв; менеджмент ресурсів (Resource Planing), включає управління складами, закупка і списання інструментів та обладнання, управління персоналом. Також, в систему можуть бути включені специфічні модулі, які будуть висвітлювати і допомагати контролювати певну область діяльності.

В світі, вже більше 30 років існує клас інформаційних систем для автоматизації управління процесами технічного обслуговування та ремонту (ТО і Р). Їх поділяють на два види. Системи CMMS (Computerized Maintenance Management System) – автоматизовані системи управління ТО і Р – достатньо нескладні інформаційні системи, які націлені на управління тільки процесами ТО і Р. Такий комплекс програмного забезпечення, включає базу даних виробничого обладнання підприємства, модулі планування проведення технічного обслуговування та ремонту.

Авіація ПС оснащена складними технічними системами, які потребують регулярної підтримки справності та обслуговування. Будь-який складний виріб, потребує належного обслуговування, проведення періодичного, щоденного огляду, паркові дні та регламентні роботи. Їх виконання пов'язано з цілою низкою процесів, які необхідно проводити вчасно, для того щоб гарантувати підтримку якості експлуатації. Для цього і слугують системи CMMS, вони дозволяють зберігати всю необхідну інформацію про кожен вид ПС, і дають можливість контролювати обслуговування і ремонт.

Системи EAM (Enterprise Asset Management) – управління активами підприємства – системи спеціального призначення, які надають можливість автоматизувати весь процес ТО і Р і процеси, що його забезпечують – такі як, управління ремонтним персоналом, матеріальну базу, поставки. Модулі ТО і Р в ERP – системах – самостійні об'єднані модулі в ERP пакетах. Головна перевага – це інтеграція зі всіма іншими модулями. Як правило, вони мають обмежену функціональність в управлінні ТО і Р.

Такі системи допомагають зробити діяльність будь якого ремонтного підприємства, в тому числі авіаційного, систематичною, скоординованою, націленою на оптимальне управління фізичними активами і режимами їх роботи, ризиками і витратами упродовж усього життєвого циклу ПС для досягнення і виконання стратегічних планів [12]. Вони широко застосовуються на автомобільному транспорті на повітряних суднах, і в авіації багатьох країн, таких як Норвегія, Великобританія, Франція, Греція, Південна Африка, а також у компаніях-виробниках авіаційної і космічної техніки, таких як аерокосмічний концерн Saab, компанія Sikorsky Aircraft Australia, міжнародний консорціум Eurofighter і інші.

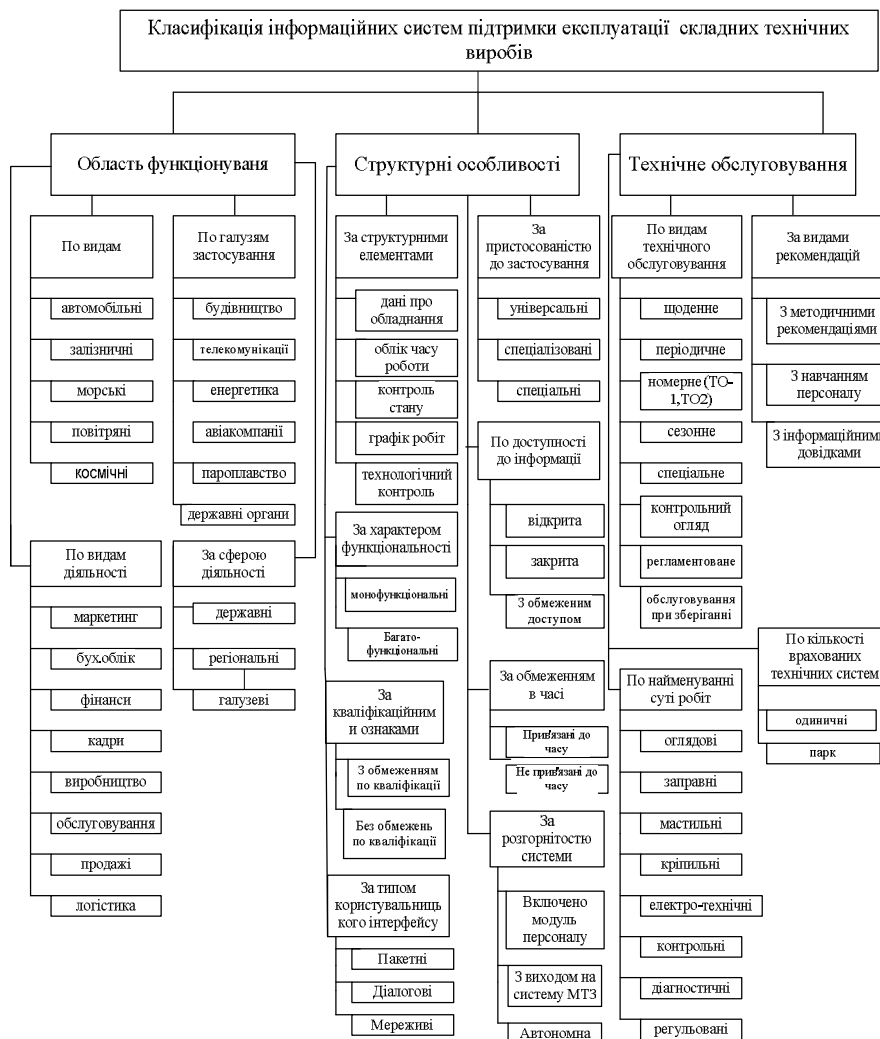
В зв'язку з цим, представляється інтерес розробити класифікацію, з використанням характерних кваліфікаційних ознак, що дозволить розробити структуру для нових і раніше розроблених складних технічних систем (табл. 1). Основними класифікаційними ознаками складних технічних систем можна вважати: область функціонування об'єкта, структурні елементи та технічне обслуговування.

Що стосується області функціонування, то першочергово необхідно враховувати: галузі, де використовується інформаційна система, сфера та види діяльності. За різноманіттям структурних елементів системи, брати до уваги те, які модулі включені в

систему, настільки вона є розгорнутою та функціональною. В залежності від необхідного технічного обслуговування, необхідно розрізняти кількість систем, види їх обслуговування, різноманітність видів робіт та наявності рекомендацій щодо застосування таких систем.

Такого роду ознаки стосуються переважно функціонально зумовлених властивостей і мають велике значення для подальшого вибору системи, яка буде застосовуватися на підприємствах чи організаціях будь-якої сфери діяльності, в тому числі і в авіації.

Таблиця 1 – Класифікація інформаційних систем підтримки експлуатації складних технічних виробів



Висновки. Актуальність розглянутого питання полягає в тому, що в Україні практичного використання інформаційної системи підтримки експлуатації повітряних суден не має в авіації ПС.

В результаті створення та впровадження в практику інформаційної системи підтримки експлуатації повітряних суден буде підвищена ефективність експлуатації життєвого циклу повітряного судна за рахунок ідентифікації дійсного технічного стану та оптимізації планування технічних оглядів і ремонтів, матеріально-технічного забезпечення. Це дасть можливість знизити витрати на логістичне забезпечення, дозволить ав-

томатизувати планування потреб та підвищить ефективність логістичних процесів. А також, з урахуванням розробленої класифікації, з'являється можливість використовувати її при розробці нових систем, можливо визначати структуру і номенклатуру всіх необхідних елементів в залежності від області функціонування системи. А також, при синтезі нових систем визначати елементи, які входять до неї.

Література

1. Судов Е.В., Левин А.И., Петров А.В., Чубарова Е.В. Технологии интегрированной логистической поддержки изделий машиностроения. Москва, Информбюро, 2006, 251 с.
2. Яблочников Е.И., Фомина Ю.Н., Саломатина А.А. Компьютерные технологии в жизненном цикле изделия. Санкт-Петербург, СПбГУ ИТМО, 2010, 180 с.
3. Судов Е.В., Левин А.И. Концепция развития CALS-технологий в промышленности России. Москва, НИЦ CALS-технологий «Прикладная логистика», 2002, 130 с.
4. Кузин Е.И., Кузин В.Е. Управление жизненным циклом сложных технических систем: история развития, современное состояние и внедрение на машиностроительном предприятии. Инженерный журнал: наука и инновации, 2016.
5. Давыдов А.Н., Барабанов В.В., Судов Е.В. CALS-технологии: основные направления развития. Стандарты и качество, 2008, № 7.
6. Колчин А.Ф., Овсянников М.В., Стрекалов А.Ф., Сумароков С.В. Управление жизненным циклом продукции. Москва, Анахарсис, 2002, 304 с.
7. Информационные технологии : учебник / под ред. В. В. Трофимова. М. : Юрайт, 2011. 624 с.
8. Садовская Т.Г. Системы управления жизненным циклом изделий и возможности их применения в отрасли энергетики / Т.Г. Садовская, Т.Н. Чернышова // Аудит и финансовый анализ. – 2010. – №6. – С. 328–341.
9. Чепіженко В.І. Підхід до управління функціональним станом складних технічних систем на експлуатаційному інтервалі їх життєвого циклу / В.І. Чепіженко // Вісник НАУ. – 2010. – № 2. – С. 53–57.
10. Эксплуатация самолета будущего должна начинаться сегодня [Текст] / А. Крутилин [и др.] // АВИА панорама: международн. авиац.-космическ. ж-л.– 2008.– № 5.– С. 30–32.
11. Антоненко И.Н., Крюков И.Э. Информационные системы и практики ТОиР: этапы развития // Главный энергетик. 2011. № 10. С. 21–28.
- 12 Закон України “Про захист інформації в інформаційно-телекомунікаційних системах” від 05.07.1994 № 80/94-ВР
13. Чернишина Г.Г., Юдкова К.В., Класифікація інформаційних систем // “Інформація і право”. 2015. № 3. 10. С. 92–98.
14. Kaleta Ryszard, Zieja Mariusz, Witoś Mirosław, System informatycznego wsparcia Lotnictwa Sił Zbrojnych RP.// Logistyka.– 2014.– #6.– С. 5094–5103.
15. Robert Rencher, Integrated IT for Improved Airplane Support //AERO. 2009. № 3. С. 14–21.

Bibliography (transliterated)

1. Sudov E.V., Levin A.I., Petrov A.V., Chubarova E.V. Tehnologii integrirovannoy logisticheskoy podderzhki izdeliy mashinostroeniya. Moskva, Informbyuro, 2006, 251 p.

2. Yablochnikov E.I., Fomina Yu.N., Salomatina A.A. Kompyuternye tehnologii v zhiznennom tsikle izdeliya. Sankt-Peterburg, SPbGU ITMO, 2010, 180 p.
3. Sudov E.V., Levin A.I. Kontseptsiya razvitiya CALS-tehnologiy v promyshlennosti Rossii. Moskva, NITs CALS-tehnologiy «Prikladnaya logistika», 2002, 130 p.
4. Kuzin E.I., Kuzin V.E. Upravlenie zhiznennym tsiklom slozhnykh tehnikeskikh sistem: istoriya razvitiya, sovremennoe sostoyanie i vnedrenie na mashinostroitel'nom predpriyatii. Inzhenernyi zhurnal: nauka i innovatsii, 2016.
5. Davydov A.N., Barabanov V.V., Sudov E.V. CALS-tehnologii: osnovnyie napravleniya razvitiya. Standarty i kachestvo, 2008, # 7.
6. Kolchin A.F., Ovsiyannikov M.V., Strekalov A.F., Sumarokov S.V. Upravlenie zhiznennym tsiklom produktsii. Moskva, Anaharsis, 2002, 304 p.
7. Informatsionnyie tehnologii : uchebnyk / pod red. V. V. Trofimova. M. : Yurayt, 2011. 624 p.
8. Sadovskaya T.G. Sistemy upravleniya zhiznennym tsiklom izdeliy i vozmozhnosti ih primeneniya v otrasli energetiki / T.G. Sadovskaya, T.N. Chernyishova // Audit i finansovyy analiz. – 2010. – #6. – P. 328–341.
9. ChepIzhenko V.I. Pidhd do upravlnnya funktsionalnim stanom skladnih tehnikeskikh sistem na ekspluatatsynomu Intervall Yih zhittEvogo tsiklu / V.I. ChepIzhenko // Visnik NAU. – 2010. – # 2. – P. 53–57.
10. Ekspluatatsiya samoleta buduschego dolzhna nachinatsya segodnya [Tekst] / A. Krutilin [i dr.] // AVIA panorama: mezhdunarodn. aviats.-kosmichesk. zh-l.– 2008.– # 5.– P. 30–32.
11. Antonenko I.N., Kryukov I.E. Informatsionnyie sistemy i praktiki TOiR: etapy razvitiya // Glavnyy energetik. 2011. # 10. P. 21–28.
12. Zakon Ukrayini “Pro zahist Informatsiyi v Informatsiyno-telekomunikatsiynih sistemah” vid 05.07.1994 # 80/94-VR
13. Chernishina G.G., Yudkova K.V., Klasifikatsiya Informatsiynih sistem // “Informatsiya i pravo”. 2015. # 3. 10. P. 92–98.
14. Kaleta Ryszard, Zieja Mariusz, Witoś Mirosław, System informatycznego wsparcia Lotnictwa Sił Zbrojnych RP.// Logistyka.– 2014.– #6.– P. 5094–5103.
15. Robert Rencher, Integrated IT for Improved Airplane Support //AERO. 2009. № 3. P. 14–21.

УДК 623.6

Шепеленко А.М.

КЛАСИФІКАЦІЯ І АНАЛІЗ СТРУКТУРИ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПОВІТРЯНОГО СУДНА

В даній статті розглянуто і визначено класифікацію структури інформаційних систем підтримки експлуатації складних технічних виробів. Визначено поняття та компоненти інформаційної системи в загальному, та для таких галузей як транспорт і авіація. Також приведена загальна характеристика технічних систем, які використовуються у всьому світі, їх можна поділити на два види: Computerized Maintenance Management System – автоматизовані системи управління технічного огляду і ремонту та Enterprise Asset Management – управління активами підприємства. У зв'язку з широким застосу-

ванням таких систем на ремонтних підприємствах, в тому числі підприємствах авіаційної промисловості, розроблено структуру систем підтримки експлуатації для складних виробів. Основними ознаками яких є область функціонування об'єкта, його структурні елементи та технічне обслуговування.

Ключові слова: інформаційна система, життєвий цикл, експлуатація, CMMS, EAM, технічний огляд, ремонт, класифікація.

Шепеленко А.М.

КЛАССИФИКАЦИЯ И АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОЗДУШНОГО СУДНА

В данной статье рассмотрена и определена классификация структуры информационных систем поддержки эксплуатации сложных технических изделий. Определено понятие и компоненты информационной системы в общем, и для таких отраслей как транспорт и авиация. Также приведена общая характеристика технических систем, которые используются во всем мире, их можно разделить на два вида: Computerized Maintenance Management System – автоматизированные системы управления технического осмотра и ремонта и Enterprise Asset Management – управление активами предприятия. В связи с широким применением таких систем на ремонтных предприятиях, в том числе предприятиях авиационной промышленности, разработана структура систем поддержки эксплуатации для сложных изделий. Основными признаками которых являются область функционирования объекта, его структурные элементы и техническое обслуживание.

Ключевые слова: информационная система, жизненный цикл, эксплуатация, CMMS, EAM, технический осмотр, ремонт, классификация.

Shepelenko A.

CLASSIFICATION AND ANALYSIS OF THE STRUCTURE OF THE INFORMATION SYSTEM OF MAINTENANCE OPERATION OF AIRCRAFT

In this article the classification of the structure of information systems of support of operation of complex technical products is considered and defined. The concepts and components of the information system in general, and for such fields as transport and aviation are defined. The general description of the technical systems used worldwide can be divided into two types: Computerized Maintenance Management System – Enterprise Asset Management and Enterprise Asset Management. Due to the widespread use of such systems, maintenance support systems for complex products have been developed at repair facilities, including those in the aviation industry. The main features are the area of operation of the object, its structural elements and maintenance.

Keywords: information system, life cycle, operation, CMMS, EAM, technical inspection, repair, classification.

Наукове видання

Щоквартальний науково-практичний журнал

ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

2'2020

Технічний редактор *К. О. Горбунов*

Підп. до друку 02.04.2020 р. Формат 60 × 84 1/8. Папір офсетний.
Riso-друк. Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 5,2. Наклад 300 пр. 1-й з-д 1–60.
Зам. № 170. Ціна договірна.

Видавець і виготовлювач
Видавничий центр НТУ «ХП»,
вул. Кирпичова, 2, м. Харків-2, 61002

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 5478 від 21.08.2017 р.