

ISSN 2524-0056(Print)
ISSN 2519-481X(Online)

**ВІЙСЬКОВИЙ ІНСТИТУТ
КИЇВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**

**ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ
ВІЙСЬКОВОГО ІНСТИТУТУ
КИЇВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**

Виходить 4 рази на рік

№ 75

Згідно Наказу МОН №1188 від 24.09.2020, п. №156 Додатку 5 «Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка» включено до категорії «Б» за спеціальностями:

- 124 – «Системний аналіз»;
- 126 – «Інформаційні системи та технології»
- 254 – «Забезпечення військ (сил)»
- 255 – «Озброєння та військова техніка»

КИЇВ – 2022

УДК621.43

ББК 32-26.8-68.49

Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. К.: ВІКНУ, 2022. № 75. 156 с.

Голова редакційної колегії:

Ленков С.В. доктор технічних наук, професор, ВІКНУ;

Члени редакційної колегії:

Анісімов А.В. доктор фізико-математичних наук, професор, член-кор. НАНУ, КНУ;
Барабаш О.В. доктор технічних наук, професор, НТУУ «КПІ»;
Гунченко Ю.О. доктор технічних наук, професор, ОНУ;
Жиров Г.Б. кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, КНУ;
Заславський В.А. доктор технічних наук, професор, КНУ;
Карпінський М.П. доктор технічних наук, професор, Університет у Бельсько-Бялій (Польща)
Лепіх Я.І. доктор фізико-математичних наук, професор, ОНУ;
Петров О.С. доктор технічних наук, професор, УНТ, Краків (Польща);
Погорілий С.Д. доктор технічних наук, професор, КНУ;
Толок І.В. кандидат педагогічних наук, доцент, ВІКНУ;
Хайрова Н.Ф. доктор технічних наук, професор, НТУ «ХПІ»;
Хлапонін Ю.І. доктор технічних наук, професор, КНУБіА;
Шаронова Н.В. доктор технічних наук, професор, НТУ «ХПІ».

Редакційна колегія прагне до покращення змісту та якості оформлення видання і буде вдячна авторам та читачам за висловлювання зауважень та побажань.

Зареєстровано Міністерством юстиції України, свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації - серія КВ № 11541 – 413Р від 21.07.2006 р.

Відповідно до Наказу МОН України від 24.09.2020 № 1188 «Збірник наукових праць ВІКНУ імені Тараса Шевченка» внесено до категорії «Б» (технічні науки).

Затверджено на засіданні вченої ради ВІКНУ від 19.05.22р., протокол №13.

Відповідальні за макет:
Ряба Л.О., Солодєєва Л.В.

Відповідальність за новизну і достовірність наведених результатів, тактико-технічних та економічних показників і коректність висловлювань несуть автори. Точка зору редколегії не завжди збігається з позицією авторів. Усі матеріали надруковані в авторській редакції.

Усі статті, що публікуються у збірнику, проходять обов'язкове рецензування, яке здійснюється за анонімною формою як для авторів, так і для рецензентів.

Видання безкоштовне.

Примірники збірників знаходяться у Національній бібліотеці України ім. В.І. Вернадського, у науковій бібліотеці ім. М. Максимовича, у бібліотеці Військового інституту та в наукових бібліотеках України, згідно списку МОН. Електронна версія збірника розміщена на відповідних сайтах.

Видання індексується Google Scholar.

Адреса редакції: 03189, м. Київ, вул. Ломоносова, 81 тел./факс +38 (044) 521 – 33 – 82

Наклад 300 прим.

Ел.адреса редактора: lenkov_s@ukr.net

Офіційний сайт журналу: <http://miljournals.knu.ua/>

ЗМІСТ

ВІЙСЬКОВА ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ ПОДВІЙНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Бабій Ю.О., Поліщук В.В., Мацишин М.О., Мартинюк В.П., Мартинюк О.В., Черноусов Д.О. Розвиток безпілотної авіації у світі та Україні: аналіз особливостей і технічних характеристик.....	5
Кривцун В.І., Баранов А.М., Баранов Ю.М., Жиров Г.Б. Рекомендації щодо проектування ремонтно-відновлювальних органів під час управління технічним станом військової техніки.....	15
Ленков С.В., Гусак Ю.А., Селюков О.В., Пампуха І.В., Солодєєва Л.В. Оцінка "здатності до супроводу" та "здатності до переміщення" спеціального програмного забезпечення автоматизованих інформаційних систем воєнного призначення.....	23
Сокіл Б.І., Купріненко О.М., Сокіл М.Б. Вплив основних силових параметрів керованої системи підресорювання на повздовжньо-кутової коливання бойових колісних машин.....	31

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Барабаш О.В., Свинчук О.В., Бандурка О.І., Опенько П.В. Інформаційна система вибору оптимальних стратегій лікування вірусних захворювань.....	41
Джулій В.М., Краснік А.В., Ленков Є.С., Охрамович М.М., Ряба Л.О. Дослідження задач побудови бездротових сенсорних мереж.....	51
Живило Є.О., Шевченко Д.Г. Оцінка ризиків кібербезпеки та контролю конфіденційності в інформаційних системах державного управління.....	66
Замрій І.В., Собчук В.В., Барабаш А.О. Ідентифікація вхідних елементів інформаційного простору та відновлення їх параметрів в єдиному інформаційному просторі виробничого підприємства з критичною інфраструктурою.....	78
Касім Н.Х., Хлапонін Ю.І., Власенко М.М. Формалізація процесу управління передачею потоків трафіку на фрагменті мережі LTE.....	88
Кошовий М.Д., Бурлесєв О.Л., Пампуха А.І. Аналіз методів оптимального планування багатofакторного експерименту за вартісними та часовими показниками.....	94

ТЕХНІЧНІ НАУКИ

(оформлені за вимогою Web of Science та Scopus)

Myasischev O.O., Lienkov S.V., Ovcharuk V.V., Tolok I.V., Lytvynenko N.I., Zinchuk A.G., Lytvynenko O.I. Development of a large-capacity quadcopter on Pixhawk family controllers.....	108
---	------------

ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ

Мацишин М.О., Машгалер А.М., Олешко Д.О., Міняйлук В.В., Бабій Ю.О. Рекомендації щодо розвитку сил та засобів Державної прикордонної служби України для дій в умовах ускладнення воєнно-політичної обстановки.....	119
Кальниш В.В., Лоза В.М., Макаруч М.Ю., Нікіфоров М.М., Пампуха І.В., Попков Б.О., Філімонова Н.Б. Удосконалена методика створення профілю військових спеціальностей для психофізіологічного забезпечення службової (трудової) діяльності у воєнній сфері.....	128
Дані про авторів.....	151
Алфавітний покажчик.....	154

CONTENTS

MILITARY EQUIPMENT AND TWO-DESTINATION TECHNOLOGIES

Babiy Yu.A., Polishchuk V.V., Matsyshyn M.O., Martinyuk V.P., Martinyuk A.V., Chernousov D.A. Development of unlimited aviation in the world and ukraine: analysis of features and technical characteristics.....	5
Kryvtsun V.I., Baranov A.M., Baranov Y.M., Zhyrov G.B. Recommendations on the design of repair and recovery bodies during technical condition of military equipment management...	15
Lienkov S.V., Gusak Y.A., Selyukov O.V., Pampukha I.V., Solodeeva L.V. Assessment of "maintenance capacity" and "movability" of special software for automated information systems in systems.....	23
Sokil B.I., Kuprinenko O.M., Sokil M.B. Peculiarities of applicatio of seismoacoustic location for determination of moving objects.....	31

INFORMATION TECHNOLOGIES

Barabash O.V., Svynchuk O.V., Bandurka O.I., Open'ko P.V. Information system for selection of optimal strategies for treatment of viral diseases.....	41
Dzhuliy V.M., Krasnik A.V., Lenkov E.S., Okhramovich M.M., Ryaba L.O. Study of problems of construction of safe sensor networks.....	51
Zhyvylo E.O., Shevchenko D.G. Risk assessment of cyber security and control of privacy in public administration information systems.....	66
Zamrii I.V., Sobchuk V.V., Barabash A.O. Identification of input elements of information space and restoration of their parameters in the single information space of manufacturing enterprise with critical infrastructure.....	78
Qasim N.H., Khlaponin Y.I., Vlasenko M.M. Formalization of the process of managing the transmission of traffic flows on a fragment of the lte network.....	88
Koshevoy M.D., Burlieiev O.L., Pampukha A.I. Analysis of methods for optimal design of multifactor experiment in terms cost and time criteria.....	94

TECHNICAL SCIENCES

(required by Web of Science and Scopus)

Myasishev O.O., Lienkov S.V., Ovcharuk V.V., Tolok I.V., Lytvynenko N.I., Zinchyk A.G., Lytvynenko O.I. Development of a large-capacity quadcopter on Pixhawk family controllers.....	108
--	-----

GENERAL QUESTIONS

Matsyshyn M.O., Mashtaler A.M., Oleshko D.O., Minyailuk V.V., Babiy Yu.A. Recommendations for the development of forces and means of the state border service of Ukraine for action in the conditions of complication of the military and political situation.....	119
Kalnysh V.V., Loza V.M., Makarchuk M.Yu., Nikiforov M.M., Pampukha I.V., Popkov B.O., Filimonova N.B. Improved methodology for creating a military specialties profile for psychophysiological support of service (labour) activities in the military domain.....	128
Data on authors	151
Alphabetical index	154

ВІЙСЬКОВА ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ ПОДВІЙНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

УДК 351.74

д.т.н. **Бабій Ю.О.** (НАДПСУ)
к.військ.н. **Поліщук В.В.** (НАДПСУ)
к.пед.н. **Мацішин М.О.** (НАДПСУ)
Мартинюк В.П. (НАДПСУ)
Мартинюк О.В. (НАДПСУ)
Черноусов Д.О. (НАДПСУ)

DOI: <https://doi.org/10.17721/2519-481X/2022/75-01>

РОЗВИТОК БЕЗПЛОТНОЇ АВІАЦІЇ У СВІТІ ТА УКРАЇНІ: АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ТА ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Можливості безпілотних літальних апаратів постійно зростають, сфера їхнього використання розширюється, бойова живучість підвищується. Більша кількість з них має малі розміри, низьку оптичну та радіолокаційну контрастність, тому вони менш уразливі засобами протиповітряної оборони противника. Разом з тим, у збройних силах провідних країн світу, зокрема Збройними Силами України, безпілотні літальні апарати все частіше використовуються замість пілотуємих літальних апаратів для виконання бойових завдань з ведення розвідки, спостереження за полем бою, знищення наземних цілей, створення хибних повітряних цілей тощо. Загалом оцінка збройних конфліктів сучасності свідчить про збільшення інтенсивності масованого застосування безпілотних авіаційних комплексів для вирішення бойових завдань різних рівнів (тактичного, оперативного та стратегічного), що суттєво змінює перебіг збройної боротьби у повітрі. Безпілотна авіація була і залишається одним із основних засобів, що зумовлює не тільки захоплення ініціативи, але і результат протистояння взагалі. Аналіз публікацій дозволяє зрозуміти порядок застосування безпілотної авіації, ефективність безпілотних літальних апаратів в ході вирішення різних завдань, а також їх переваги та недоліки, однак не розкрито способи та досвід застосування безпілотних літальних апаратів у сьогодинньому воєнному конфлікті.

У даній статті розкрито тенденції бойового застосування безпілотної авіації, здійснено аналіз застосування безпілотної авіації на основі досвіду їх бойового застосування під час ведення збройного конфлікту з російською федерацією, який, зокрема, показав, що боротьба сил та засобів протиповітряної оборони в збройному конфлікті російської федерації проти безпілотної авіації є недостатньо ефективною внаслідок ряду факторів, зокрема через випереджальний розвиток даних засобів повітряного нападу по відношенню до існуючих вогневих засобів протиповітряної оборони. Крім того, у роботі визначено значення безпілотної авіації на особливості ведення війни, її подальший характер дії та тенденції розвитку подальшого застосування та особливості сучасного військового мистецтва при провідній ролі авіації.

Таким чином, повітряна операція (як з оборонними, так і з наступальними цілями) є важливим компонентом операції з відсічі збройної агресії і загострення воєнно-політичного конфлікту. Тому повномасштабний збройний конфлікт російської федерації вимагає більш детального аналізу особливостей бойового застосування сучасної безпілотної авіації України.

Ключові слова: воєнний стан; безпілотна авіація; безпілотна ударна авіація; розвідка; дрон; протиповітряна оборона.

Вступ та постановка проблеми. Оцінка збройних конфліктів сучасності (Лівія, Сирія, Нагірний Карабах) свідчить про зростання ролі безпілотної авіації [1], зокрема один із її важливих напрямків пов'язаний з розробкою безпілотних літальних апаратів (далі – БпЛА), застосування яких дозволяє мінімізувати втрати особового складу, за рахунок заміни людського ресурсу високотехнологічними засобами. Це дозволяє зробити висновок про те, що

противник з високою ймовірністю розпочне бойові дії безпосередньо із застосуванням ракетного озброєння та авіації (в тому числі безпілотної) шляхом ведення повітряної наступальної операції. Переміщення збройної боротьби у повітряний простір підвищує роль авіаційної та протиповітряної компонент збройних сил, від ефективності застосування яких буде залежати ступінь досягнення стратегічної мети воєнних дій. Якщо авіація та протиповітряна оборона (далі – ППО) виконують завдання в повітряній оборонній операції, то сили та засоби сухопутних військ зможуть реалізувати завдання в ході наземної частини збройного конфлікту, у іншому випадку (без авіації та ППО) або противник досягне стратегічних цілей й конфлікт буде вичерпаним, або нікому буде виконувати завдання в ході реалізації наземної частини збройного конфлікту. Значення авіації завжди велике там, де війська ведуть активні бойові дії.

Досвід практичного цивільного і військового застосування БпЛА в різних країнах у військових, антитерористичних операціях та конфліктах, при виконанні ряду цивільних завдань дозволяє сформулювати перелік завдань, визначити типи і впорядкувати класифікацію БпЛА. Військові завдання по важливості, складності, особливим умовам та іншим екстремальним чинникам перевершують цивільні, і тому основні тенденції сучасного та перспективного розвитку БпЛА пов'язують, у першу чергу, з військовим призначенням.

Роль та місце БпЛА при веденні воєнних конфліктів призвела до їх масованого, інтегрального та глобального застосування для одночасного вирішення багатьох задач. Безпілотна авіація розглядалась як важливий засіб ведення воєнних конфліктів ще з середини двадцять першого сторіччя, але на той час вона не набула такого масового поширення та застосовувалась у воєнних конфліктах більше для ведення розвідки, ніж для нанесення ударів. Однією з причин цього стали не достатньо розвинуті технології щодо створення БпЛА різного типу та призначення. Зокрема з розвитком відповідних технологій [1–3] з'явилась можливість створення БпЛА меншими за розмірами, але з кращими можливостями стосовно ведення розвідки та нанесення ударів. Також з'явився такий тип безпілотної ударної авіації, як баражуючі боеприпаси, що значно ускладнило боротьбу з нею засобами та силами протиповітряної оборони (далі – ППО). Проблематика бойового застосування, перспектив і основних тенденцій розвитку БпЛА в Україні не втрачає своєї актуальності.

Аналіз останніх досліджень. Питання досвіду бойового застосування безпілотної авіації у мовах ведення збройного конфлікту досліджено в роботах С. Яроша, Д. Гур'єва [4]; Опенько П. В. [5]; О. Харченко, С. Богословця [6]; В. Купріянової, І. Матюшенко [7]; О. Збруцького [8]; Ю. Даника, І. Балицького [9] та ін. Аналіз даних публікацій дозволяє зрозуміти порядок застосування БпЛА, їх ефективність в ході вирішення різних завдань, а також переваги та недоліки, однак не розкрито способи та досвід застосування БпЛА у сьогоденному воєнному конфлікті. Метою статті є здійснення аналізу практичного використання БпЛА та безпілотних авіаційних комплексів, зокрема використання безпілотної авіації на основі досвіду їх бойового застосування під час ведення бойового конфлікту з російською федерацією, зокрема визначення її значення на характер ведення війни, її характер дії та тенденції розвитку подальшого застосування.

Виклад основного матеріалу. Безпілотні літальні апарати добре зарекомендували себе під час останнього конфлікту в Нагірному Карабаху та Сирії, а нинішню війну в Україні взагалі називають “війною дронів”. “Війна дронів” придумана не тут. Спочатку бойові дрони активно використовувалися Заходом як засіб зберегти людські життя. Тому значні кошти вкладалися у розвиток саме технологій БпЛА, зокрема розвідувальних, ударних, одноразових та багаторазових. До речі, крім літальних апаратів розвивали також водні (морські) безпілотники, колісні сухопутні безпілотники. Ключовою ідеєю є витрати на залізо, задля збереження життя [10], головна ж ставка російської федерації робиться на найдешевші БпЛА, оскільки цінність життя людини на пострадянському просторі значно нижча, ніж у інших країнах, а вартість життя в Росії визначена ще за Петра I знаменитою фразою: “Бабы еще нарожают”.

Сьогодні змінилась і сама концепція застосування БпЛА. Потрібно сказати, що деякий час самим відомим БпЛА був американський MQ-1 “Predator”, пізніше на його базі створили більш важкий MQ-9 “Reaper”, це достатньо великі та важкі БпЛА. На сьогодні основним класом БпЛА, який застосовують сучасні армії світу, є БпЛА середнього класу, які прийнято позначати за допомогою аббревіатури MALE, що розшифровується як “medium altitude, long endurance”, такі БпЛА здатні працювати тривалий час на середній висоті. Перевагою таких БпЛА є можливість тривалий час знаходитися у визначеній зоні, очікуючи виклик, що дає їм можливість залишатися поза полем бою, зокрема поза зоною вогневого впливу засобів ППО, але з невеликим підльотним часом.

Іншим типом БпЛА, який розвивається на сьогодні найбільш активно, є баражуючі боєприпаси. Розробка таких БпЛА в широких масштабах стала можливою завдяки досягненням в створенні мініатюрних економічних двигунів, високоточних систем наведення, малогабаритних бортових цифрових обчислювальних машин тощо. Апарати цього класу мають малу ефективну поверхню росіювання, низькі значення рівнів шуму і теплового випромінювання. Вищезгадані баражуючі боєприпаси являють собою свого роду крилаті ракети, які здатні баражувати 6–9 год в районі очікування, мають сучасну систему навігації та прицілювання, здатні наводитись на ціль та тримати її в прицілі, маневруючи на підльоті до неї на швидкості до 550 км/год.

Основною роллю БпЛА у цій війні є використання цих засобів в якості наведення артилерії. Це стосується як російського “Орлан-10”, так і всіх БпЛА, які є на озброєнні в Україні. Адже ми навіть “Bayraktar TB2” загалом застосовуємо не як ударні дрони. За допомогою них заощаджуємо керовані бомби, кожна з яких коштує приблизно 40 тис. у. о. Тому, в нашому випадку, набагато більший ефект від “Bayraktar TB2” як потужних розвідувальних дронів-навідників для артилерії. На жаль, російський “Орлан-10” свою роль дронів-навідників теж непогано виконує.

Чудовою партизанською іграшкою є модернізований квадрокоптер “Mavic-3”. Це те, що потрібно особливо на окупованих територіях, те, що може сама собі “наклепати” тероборона, власне кажучи, це аналог ручної гранати у піхотинців. Якщо й надалі проводити піхотну аналогію, то “Bayraktar TB2” це вже хороший сучасний танк, який здалеку працює знаряддям з усіма сучасними наведеннями та інше. Відповідно, і “Mavic-3”, і “Bayraktar TB2” мають різне призначення.

В межах війни, яка точиться на території нашої держави, особливо хочеться звернути увагу на дрони-камікадзе – одноразові американські “Switchblade 300”. Це дуже перспективна річ, бо сила поразки у них як у гарного артилерійського снаряда, а точність влучання є високою, він прилітає саме туди, куди його посилаєш і це його унікальність. Дрон-камікадзе “Switchblade 300” відноситься до категорії “боєприпас в очікуванні” або “зброя в очікуванні”. Це свого роду поєднання ракети з дроном. Боєприпасами чи зброєю “в очікуванні” (loitering munition bzw. weapons) називають дистанційно керовану зброю, яка стартує без визначення цілі, потім курсує тривалий час над відповідною територією, поки оператор на землі не визначить їй ціль, тоді ця зброя атакує і завдає удару. Залежно від моделі, цілі можуть визначатись, класифікуватись та уражатись і завдяки власній сенсорній системі цієї зброї. Разом з тим, особливо відомою зброя “в очікуванні” не є. Інформація про неї з'явилася вперше під час війни в Нагірному Карабаху у 2020 році – тоді її у великій кількості застосував Азербайджан. “Switchblade 300” є наявним у різних варіантах. Вага найменшої моделі складає 2,5 кг, дальність пострілу 10 км та може “висіти” в повітрі 15 хв. Більша модель важить майже 15 кг, має дальність пострілу 40 км та літає протягом 40 хв. Українські оператори даного БпЛА пройшли відповідні курси. На початку травня Збройні Сили України ймовірно застосували американський дрон-камікадзе “Switchblade 300”, зокрема 6 травня 53 бригада повідомила про вдале застосування вищезгаданого БпЛА на своїй ділянці фронту, однак пропагандистські телеграм-канали поширили фотографії решток одного із таких БпЛА, рис. 1. За їхньою інформацією українці використали нову зброю в Харківській області. Визначити тип боєприпасу, яким вистрелили по росіянам достеменно складно. На рештках не видно ані назви,

ані маркування компанії виробника. Росіяни висловили припущення, що їх обстріляли БПЛА “Phoenix Ghost”. Втім, порівняння з фотографіями БПЛА “Switchblade 300” дають підстави припускати, що на фото задня частина саме цього баражуючого боєприпасу [11].

До переваг цього дрону відносять те, що він не потребує стартового майданчика чи багато інфраструктури для запуску. На відміну від запуску ракети, є час для ідентифікації цілі, оцінки ситуації та буквально пострілу з дрону “руками” чи за допомогою визначення цілі з метою її ураження. Дрони “Switchblade 300” носять назву “камікадзе”, оскільки вони руйнуються під час потрапляння у ціль.



Рисунок 1 – Рештки дрона-камікадзе “Switchblade 300”, знайденого в Харківській області

Схожі за властивостями на “Switchblade 300” дрони “Phoenix Ghost” розроблені в США спеціально для України. Можуть залишатися у повітрі до 6 год. Крім того, даний дрон запускається вертикально, тобто з використанням мінімальної площі та завдяки інфрачервоним сенсорам може керуватися і вночі. Дрон може бути задіяний “проти середньоважких броньованих наземних цілей”. Зауважимо, що “Phoenix Ghost” США розробили спеціально для потреб Збройних Сил України та вони максимально відповідають вимогам ведення бойових дій, особливо у Східній Україні. Наразі багато інформації залишається невідомою, не оприлюднюються і його знімки.

До категорії “великих дронів”, які є на озброєнні в Україні відносять турецький ударний дрон “Bayraktar TB2”, рис. 2 [12]; [13]. Цей безпілотник використовується для розвідки, а також може нести керовані лазером бомби та ракети. “Bayraktar TB2” має довжину 6,5 м, розмах його крил становить 12 метрів, а важить він 420 кг. Цей повністю автономний дрон може безперервно перебувати у повітрі 24 год та сягати висоти польоту до 7 300 м. Його максимальна швидкість – близько 220 км на год. В автономному модулі він може здійснюватися без залучення координатора на землі, летіти до запрограмованої цілі, вести спостереження, повертатись та самостійно приземлятися. Максимальна дальність польоту складає 150 км.



Рисунок 2 – Турецький ударний дрон “Bayraktar TB2”

Можна знайти безліч фактів, які демонструють можливості та потужність цієї зброї. Це і знищення скупчення ворожої техніки у славнозвісній Чорнобаївці з перших днів війни і до сьогодні, і знищення двох російських катерів типу “Raptor” біля острова Зміїний [12]. Надзвичайно велику роль відіграло застосування турецьких дронів і в звільненні від окупантів Житомирщини та Київщини. Потоплення російського крейсера “Москва” з допомогою “Bayraktar TB2”, що скоріш за все відбувалося за сирійський сценарієм [4], де “Bayraktar TB2” виконував розвідку цілі та передавав інформацію до станцій радіоелектронної боротьби, ті, у свою чергу, активно впливали на роботу засобів ППО, передусім виконували постановку завдань і ведення в оману операторів РЛС противника. Після подавлення ППО для атаки використовували дані ударні БПЛА. В цій операції “Bayraktar TB2” виконував завдання з розвідки, стостереження, наведення, корегування вогню артилерії, радіоелектронного подавлення та нанесення удару.

Втім, “ахіллесовою п’ятою” даного безпілотної є його метеозалежність, він може працювати лише в умовах ясної сонячної погоди. Туреччина розробляла його з урахуванням власного клімату, зокрема для ведення бойових дій у сусідньому Азербайджані, країнах Близького Сходу й Африки. Однак в Україні на рік фіксується не більше 60–70 сонячних днів, решта – це низька хмарність і туман, особливо характерні для районів проведення бойових дій на Донбасі. Використання “Bayraktar TB2” за таких умов ускладнена. Тепловізор апарату не завжди “пробиває” щільну хмарність. Однак результат взаємодії БПЛА даного типу з іншими видами озброєння та військової техніки і силами ускладнило боротьбу з ними силами та засобами ППО противника.

Від недавня для розвідувальних цілей Збройні Сили України використовують дрон-розвідник баварської фірми Quantum Systems “Vector”, рис. 3. Цей дрон коштує 180 тис. євро. Оплату дронів перейняли українські мультимільйонери як “пожертву на територіальну оборону для захисту Дніпра”.



Рисунок 3 – Дрон-розвідник “Vector”

Однак німецький дрон “Vector” як такою зброєю не є. Він не скидає бомби, ця функція навіть не передбачена. Зокрема, він може бути задіяний як частина певної збройної системи в разі відповідного цифрового з’єднання. Цей дрон досить популярний тим, що він є надзвичайно технологічним у польотах та передачі відео. Українці мають намір використовувати дрон для оптимального наведення артилерії, наприклад, на російські танки, що наближаються. “Vector” встановлюють без інструментів, йому не потрібна злітно-посадкова смуга, і незважаючи на триметровий розмах крил, він навіть злітає вертикально як “Phoenix Ghost”. “Vector” доставляє відео в реальному режимі часу у високому розширенні на відстань 15 км та залишається у повітрі до двох годин.

Що стосується українського виробництва, то найбільш поширеними у використанні нашими військовими є дрон “Лелека-100”. Цей БПЛА важить близько 5 кг, його виробляє фірма “Deviro”, м. Дніпро. Ще одним безпілотником українського виробництва являється ударно-розвідувальний комплекс “Сокіл-300”, рис. 4 [10]. Він складається із двох безпілотників. Перший – розвідувальний “FlyEye”, який забезпечує виявлення та спостереження за цілями, а другий “Warmate” – ударний дрон-камікадзе. “FlyEye” оснащений нічними та денними камерами. Забезпечує тривалість польоту упродовж 120–180 хв, на висоті до 1 000 м та дальності 50 км. Безпілотник обладнаний захищеними каналами передачі інформації, а також функцією повернення у точку запуску при втраті сигналу GPS. Зібрана інформація безпілотником “FlyEye” передається на пункт управління, де приймається рішення на застосування ударного дрона-камікадзе “Warmate”. У носовій частині апарат оснащується бойовою частиною, яка може змінюватися у залежності від типів цілей. Максимальна дальність ураження, шляхом самознищення при потрапінні в ціль, становить до 30 км.



Рисунок 4 – Ударно-розвідувальний комплекс “Сокіл-300”

Український ударний БПЛА розробляло впродовж останніх 1,5 років Конструкторське бюро “Луч”. “Сокіл-300” оснащується українською оптико-електронною станцією, може використовувати декілька типів двигунів. Це як вітчизняні АІ-450Т2 та МС-500В-05С/СЕ, також іноземного виробництва – Rotax 914. В залежності від типу двигуна різняться і його “пуста” та “повна вага”, максимальна швидкість (від 210 км/год до 580 км/год), час польоту (від 3 до 26 годин) та дальність польоту (від 1 000 до 3 300 км). Радіус дії для всіх типів двигунів однаковий – 150 км при прямому радіозв’язку та 300 км при використанні радіоретранслятора. Політ БПЛА “Сокіл-300” здійснюється на максимальній висоті у 10–12 км, керується інерційним блоком з лазерними гіроскопами. Замовником даного БПЛА є Міністерство оборони України, за словами керівника Конструкторського бюро “Луч” Олега Коростельова, планувалось, що БПЛА “Сокіл-300” мав потрапити до Державного оборонного замовлення у 2022 році. Його розробка була профінансована з оборонних коштів конструкторського бюро. Вартість складає близько 45 млн грн.

Забезпечення воєнної безпеки може здійснюватися з використанням підтримки з боку держав-партнерів. З прийняттям лендлізу США для нас відкривається великий американський військторг, а востаннє американський військторг так відкривався під час Другої світової війни для антигітлерівської коаліції.

Вищезгадані американські ударні безпілотники “MQ-9 Reaper” у зв’язку з підписанням лендлізу можуть найближчим часом опинитися у Збройних силах України [14]; [15]. Радіус дії у них є принципово іншим. “Bayraktar TB2” застосовуються нашими військовими на фронті та в ближньому тилу ворога, а “MQ-9 Reaper” – це вже можливість вражати ціль на території

російської федерації, можливість вдарити по тилових ворожих об'єктах таких як склади озброєння, аеродроми, з яких вилітають літаки, що бомблять нас тощо. Причому, вдарити, швидше за все, безкарно, тому що “MQ-9 Reaper” літає дуже високо, для більшості російських систем ППО вони не те щоб недосяжні, просто на великій висоті це дуже малопомітна ціль, в яку потрібно ще влучити. Україна вже почала переговори з США та виробниками важких ударних безпілотників “MQ-9 Reaper” від “General Atomics”. Це основний розвідувально-ударний БпЛА Повітряних сил США, до того ж вони значно кращі за відомі “Bayraktar TB2”, недоліком є те, що вони коштують набагато дорожче – 32 млн доларів проти 1-2 млн доларів. Безпілотники “MQ-9 Reaper” оснащені високоточними ракетами “AGM-114 Hellfire”, ці ракети при відносно малій вазі у 50 кг мають дальність польоту до 8–11 км, а потужність бойової частини вистачає для знищення всіх видів бронетехніки на полі бою. Ще однією перевагою являється супутниковий канал зв'язку між дронами та станцією управління, тобто таке поняття як дальність управління взагалі не важливе для цього безпілотника.

Україна запросила у США поставки ударних безпілотників “MQ-1C Gray Eagle” з ракетами AGM-114 Hellfire. Однак існує складність передавання подібних БпЛА третім країнам. На безпілотники поширюються суворі правила, зокрема режим контролю над ракетними технологіями. Він вимагає, щоб будь-який дрон або ракета з корисним навантаженням у 500 кг і з дальністю дії до 300 км не повинні передаватися з однієї країни в іншу. Свого часу це не дозволило продати Reaper Катару та Індонезії. Через це передавання в Україну “MQ-1C Gray Eagle” виглядає малоімовірним.

Бойові дії в Україні засвідчують, що БпЛА стали невід'ємною частиною ведення війни. Дрони виконують різноманітні завдання – від стеження за повітряним простором і до пуску ракет. Якщо Росія продовжить втрачати безпілотники сьогоднішніми темпами, можливості розвідки і спостереження російських сил ще більше погіршуватимуться, що негативно позначиться на оперативній ефективності.

Досвід застосування БпЛА у локальних війнах і збройних конфліктах останніх десятиліть, а також наукових розробок військових фахівців провідних країн світу щодо перспектив їх подальшого розвитку та бойового застосування, дозволяє зробити наступні висновки:

1. Новим у веденні збройної боротьби в сучасних війнах стало масове використання невеликих за розміром, малопомітних і з відносно великою тривалістю польоту БпЛА для отримання розвідувальної інформації з метою нанесення ударів по противнику, для ураження наземних, а в перспективі й повітряних об'єктів.

2. Військове керівництво більшості країн світу розглядає безпілотні авіаційні комплекси як один з важливих видів військової авіаційної техніки, що забезпечує суттєве підвищення бойових можливостей армійської авіації.

3. У збройних силах провідних країн НАТО безпілотна авіація стала складовою повітряної розвідувальної тріади поряд з космічною розвідкою та пілотованою розвідувальною авіацією, а також важливою складовою армій цих країн.

4. Застосування в комплексі БпЛА різних типів, зокрема баражуючих боеприпасами, є одним із основних чинників недостатньої ефективності зенітно-ракетних комплексів противника.

Висновки та перспективи подальшого розвитку. Військово-політична обстановка, що склалася в Україні, викликає необхідність негайного підвищення боєздатності Збройних Сил України завдяки: проведенню економічної оцінки можливості придбання за кордоном БпЛА, інтенсивному використанню та розробці сучасних БпЛА різного функціонального призначення (так звана розробка дорожньої карти стратегії розвитку БпЛА, яка б містила: основні завдання, які здатні вирішити БпЛА; найменування обладнання та які технології для цього потрібні; строки виконання перших двох пунктів), що суттєво підвищить можливості проведення військових операцій та різних гуманітарних акцій в Україні.

Напрямок подальших досліджень повинна стати розробка системи класифікації БпЛА військового призначення, яка дозволить впорядкувати не тільки існуючі та розроблювані

зразки БПЛА, а й простежити тенденцію їх розвитку, виділити існуючі недоліки та уточнити вимоги до створюваних зразків БПАК. На основі запропонованої системи класифікації можна сформувавши підхід до вирішення завдання з обґрунтування вигляду нових зразків БПЛА.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Serhii Lienkov, Alexander Myasische, Oksana Banzak, Yurii Husak, Ivan Starynski. Use of rescue mode for UAV on the basis of STM32 microcontrollers. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering Available*, vol. 9, no. 3, pp. 3506–3513. URL: <http://www.warse.org/IJATCSE/static/pdf/file/ijater156932020>. DOI:10.30534/ijatcse/2020/15693202. (дата звернення: 02.05.2022).
2. Lienkov S., Myasishev A., Sieliukov O., Pashkov A., Zhyrov G., Zinchyk A. Checking the Flight Stability of a Rotary UAV in Navigation Modes for Different Firmware. *CEUR Workshop Proceedings (CEUR-WS.org)*, 2021, 3126, pp. 46–55.
3. Serhii, Lienkov, Alexander, Myasishev, Oksana, Banzak, Larysa, Komarova, Nataliia, Lytvynenko, Oleg, Mirosnichenko (2020), Construction of an Aircraft-Type UAV for Flight Along a Given Trajectory in the Automatic Mode. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research Available*, Volume 8, No. 9, pp. 5083–5088. URL: <http://www.warse.org/IJETER/static/pdf/file/ijeter200892020.pdf> <https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/200892020> (дата звернення: 02.05.2022).
4. Ярош С.П., Гур'єв Д.О. Аналіз розвитку безпілотних літальних апаратів, способів їх бойового застосування та розробка пропозицій щодо організації ефективної боротьби з безпіотною авіацією. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. Харків : ХУПС. 2021. № 2(43). С. 54–60.
5. Опенько П. В., Дранник П. А., Кобзєв В. В., Зубрицький Г. М. Обґрунтування підходів щодо використання безпілотних літальних апаратів для контролю параметрів радіолокаційних засобів ЗРК. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*. Київ : НУОУ, 2016. № 1. С. 82–86.
6. Харченко О. В., Богословець С. О., Коцуренко Ю. В. Комплексний аналіз перспектив розвитку військової безпілотної авіації у збройних силах провідних країн світу. *Наука і оборона*. Київ : НУОУ, 2013. № 1. С. 51–57.
7. Купріянова В. С., Матюшенко І. Ю. Стан та перспективи розвитку безпілотних літальних апаратів в Україні. *Вісник економіки транспорту і промисловості*, 2015. № 50. С. 334–340.
8. Збруцький О. В., Масько О. М., Сухов В. В. Безпілотні літальні апарати контейнерного старту: сучасний стан і напрямки досліджень. *Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»*. Київ : КПІ, 2012. № 64. С. 63–66.
9. Даник Ю. Г., Катеринчук І. С., Балицький І. І. Методика забезпечення безпеки застосування БПЛА при виконанні спеціальних задач в складних умовах. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*. Київ : НУОУ, 2017. № 3(30). С. 116–125.
10. Україна оснащується дронами: як зміниться тактика війни. URL: <https://www.dw.com/uk/ukraine-osnashchuietsia-dronamy-yak-zminytsia-taktyka-viiny/a-61669029> (дата звернення: 04.05.2022).
11. Switchblade 300: ймовірно, ЗСУ вперше застосували американський дрон-камікадзе. URL: <https://mil.in.ua/uk/news/switchblade-300-jmovirno-zsu-vpershe-zastosuvaly-amerykanskyj-dron-kamikadze/> (дата звернення: 07.05.2022).
12. “Bayraktar” of the Armed Forces of Ukraine hit the ammunition depot and communication post of the Russian Federation on Zmiyinyi Island. URL: <https://mil.in.ua/en/news/bayraktar-of-the-armed-forces-of-ukraine-hit-the-ammunition-depot-and-communication-post-of-the-russian-federation-on-zmiyinyi-island/> (дата звернення: 07.05.2022).
13. First successful anti-ship mission of Bayraktar TB2 drone in Ukraine. URL: <https://www.aviacionline.com/2022/05/first-successful-anti-ship-mission-of-bayraktar-tb2-drone-in-ukraine/> (дата звернення: 02.05.2022).
14. Ukraine May Get U. S. MQ-9 Reaper Strike Drones. URL: <https://www.forbes.com/sites/michaelpeck/2022/04/13/ukraine-may-get-us-mq-9-reaper-strike-drones/> (дата звернення: 14.04.2022).
15. US might deliver MQ-9 Reaper UAVs to Ukraine in less than 30 days. URL: <https://bulgarianmilitary.com/tag/mq-9-reaper-to-ukraine/> (дата звернення: 07.05.2022).

REFERENCES:

1. Serhii, Lienkov, Alexander, Myasische, Oksana, Banzak, Yurii, Husak, Ivan, Starynski (2020), Use of rescue mode for UAV on the basis of STM32 microcontrollers. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering* Available. Vol. 9, No. 3, pp. 3506–3513. URL: <http://www.warse.org/IJATCSE/static/pdf/file/ijater156932020> (accessed 2 May 2022).
2. Lienkov, S., Myasishev, A., Sieliukov, O., Pashkov, A., Zhyrov, G., Zinchyk, A. (2021), Checking the Flight Stability of a Rotary UAV in Navigation Modes for Different Firmware. *CEUR Workshop Proceedings* (CEUR-WS.org), pp. 46–55.
3. Serhii, Lienkov, Alexander, Myasishev, Oksana, Banzak, Larysa, Komarova, Nataliia, Lytvynenko, Oleg, Miroshnichenko (2020), Construction of an Aircraft-Type UAV for Flight Along a Given Trajectory in the Automatic Mode. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research* Available, Volume 8, No. 9, pp. 5083–5088. URL: <http://www.warse.org/IJETER/static/pdf/file/ijeter200892020.pdf> <https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/200892020> (accessed 2 May 2022).
4. Yarosh, S. P., Guryev D. O. (2021), “Analiz rozvytku bezpilotnykh litalnykh aparativ, sposobiv yikh boiovoho zastosuvannia ta rozrobka propozytsii shchodo orhanizatsii efektyvnoi borotby z bezpilotnoi aviatstsiiu” [Analysis of the development of unmanned aerial vehicles, methods of their combat use and development of proposals for the organization of effective control of unmanned aerial vehicles]. *Nauka i tekhnika Povitrianykh Syl Zbroinykh Syl Ukrainy*. Kharkiv, No. 2(43), pp. 54–60.
5. Openko, P.V., Drannyk, P.A., Kobziev, V.V., Zubrytskyi, H.M. (2016), “Obgruntuvannia pidkhodiv shchodo vykorystannia bezpilotnykh litalnykh aparativ dlia kontroliu parametriv radiolokatsiinykh zasobiv ZRK” [Substantiation of approaches to the use of unmanned aerial vehicles to control the parameters of SAM radar]. *Suchasni informatsiini tekhnolohii u sferi bezpeky ta oborony*, No. 1, pp. 82–86.
6. Kharchenko, O. V., Bogoslovets, S. O., Kotsurenko, Yu. V. (2013), “Kompleksnyi analiz perspektyv rozvytku viiskovoi bezpilotnoi aviatstsii u zbroinykh sylakh providnykh krain svitu” [Comprehensive analysis of the prospects for the development of military unmanned aerial vehicles in the armed forces of the world's leading countries]. *Nauka i oborona*. Kyiv, No. 1, pp. 51–57.
7. Kupriianova, V. S., Matiushenko, I. Yu. (2015), “Stan ta perspektyvy rozvytku bezpilotnykh litalnykh aparativ v Ukraini” [Status and prospects of development of unmanned aerial vehicles in Ukraine]. *Visnyk ekonomiky transportu i promyslovosti*, No. 50, pp. 334–340.
8. Zbrutskyi, O. V., Masko, O. M., Sukhov, V. V. (2012), “Bezpilotni litalni aparaty konteinerneho startu: suchasnyi stan i napriamky doslidzhen” [Container launch unmanned aerial vehicles: current status and areas of research]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Ukrainy «Kyivskiy politekhnichnyi instytut»*. Kyiv, No. 64, pp. 63–66.
9. Danyk, Yu. H., Katerynychuk, I. S., Balytskyi, I. I. (2017), “Metodyka zabezpechennia bezpeky zastosuvannia BPLA pry vykonanni spetsialnykh zadach v skladnykh umovakh” [Methods of ensuring the safety of UAVs when performing special tasks in difficult conditions]. *Suchasni informatsiini tekhnolohii u sferi bezpeky ta oborony*. Kyiv, No. 3(30), pp. 116–125.
10. *Ukraina osnashchuietsia dronamy: yak zminytsia taktyka viiny* [Ukraine is equipped with drones: how to change the tactics of war]. URL: <https://www.dw.com/uk/ukraine-osnashchuietsia-dronamy-yak-zminytsia-taktyka-viiny/a-61669029> (accessed 4 May 2022).
11. *Switchblade 300: ymovirno, ZSU vpershe zastosuvaly amerykanskyi dron-kamikadze* [Switchblade 300: probably, the Armed Forces used the American kamikaze drone for the first time]. Retrieved from: <https://mil.in.ua/uk/news/switchblade-300-jmovirno-zsu-vpershe-zastosuvaly-amerykanskyj-dron-kamikadze/> (accessed 7 May 2022). [in Ukrainian]
12. “Bayraktar” of the Armed Forces of Ukraine hit the ammunition depot and communication post of the Russian Federation on Zmiyinyi Island. URL: <https://mil.in.ua/en/news/bayraktar-of-the-armed-forces-of-ukraine-hit-the-ammunition-depot-and-communication-post-of-the-russian-federation-on-zmiyinyi-island/> (accessed 7 May 2022).
13. *First successful anti-ship mission of Bayraktar TB2 drone in Ukraine*. URL: <https://www.aviacionline.com/2022/05/first-successful-anti-ship-mission-of-bayraktar-tb2-drone-in-ukraine/> (accessed 2 May 2022).
14. *Ukraine May Get U.S. MQ-9 Reaper Strike Drones*. URL: <https://www.forbes.com/sites/michaelpeck/2022/04/13/ukraine-may-get-us-mq-9-reaper-strike-drones/> (accessed 14 Apryl 2022).
15. *US might deliver MQ-9 Reaper UAVs to Ukraine in less than 30 days*. URL: <https://bulgarianmilitary.com/tag/mq-9-reaper-to-ukraine/> (accessed 29 May 2022).

**Doctor of Technical Science Babiy Yu. A., PhD Polishchuk V.V., PhD Matsyshyn M.O.,
Martinyuk V.P., Martinyuk A.V., Chernousov D.A.
DEVELOPMENT OF UNLIMITED AVIATION IN THE WORLD AND UKRAINE:
ANALYSIS OF FEATURES AND TECHNICAL CHARACTERISTICS**

The capabilities of unmanned aerial vehicles are constantly growing, the scope of their use is expanding, combat survivability is increasing. Most of them are small, low optical and radar contrast, so they are less vulnerable to enemy air defenses. At the same time, in the armed forces of the world's leading countries, in particular the Armed Forces of Ukraine, unmanned aerial vehicles are increasingly used instead of manned aircraft to perform combat tasks of reconnaissance, battlefield surveillance, destruction of ground targets, creation of false air targets and more. In general, the assessment of modern armed conflicts shows an increase in the intensity of mass use of unmanned aerial vehicles to solve combat tasks at various levels (tactical, operational and strategic), which significantly changes the course of armed struggle in the air. Unmanned aerial vehicles have been and remain one of the main means, which determines not only the enthusiasm of the initiative, but also the result of the confrontation in general. Analysis of publications allows us to understand the use of unmanned aerial vehicles, the effectiveness of unmanned aerial vehicles in solving various problems, as well as their advantages and disadvantages, but does not reveal ways and experience of using unmanned aerial vehicles in today's military conflict.

This article reveals the trends in the combat use of unmanned aerial vehicles, analyzes the use of unmanned aerial vehicles based on the experience of their combat use in combat conflict with the Russian Federation, which, in particular, showed that the struggle of air defense forces and forces in the armed conflict Aviation is ineffective due to a number of factors, in particular due to the advanced development of these air attack means in relation to existing air defense firepower. In addition, the paper identifies the importance of unmanned aerial vehicles on the peculiarities of warfare, its further nature of action and trends in the further application and features of modern martial arts with the leading role of aviation.

Thus, the air operation (both for defense and offensive purposes) is an important component of the operation to repel armed aggression and aggravate the military-political conflict and full-scale armed conflict of the Russian Federation requires a more detailed analysis of combat applications of modern unmanned aerial vehicles.

Key words: martial law; unmanned aerial vehicles; unmanned strike aircraft; intelligence; drone; air defense.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРОЕКТУВАННЯ РЕМОНТНО-ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ОРГАНІВ ПІД ЧАС УПРАВЛІННЯ ТЕХНІЧНИМ СТАНОМ ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ

Підвищення якості управління технічним станом військової техніки досягається підтриманням необхідної кількості працездатної військової техніки, часу використання її за призначенням та своєчасним відновленням військової техніки в умовах ведення бойових дій. У статті розроблені рекомендації щодо проектування ремонтно-відновлювальних органів під час управління технічним станом військової техніки на основі удосконаленої методики визначення і корегування оптимальної періодичності обслуговування військової техніки. Запропонована структура ремонтно-відновлювальних органів повинна відповідати наступним вимогам: забезпечувати виконання військами завдань за призначенням шляхом підтримання військової техніки в справному стані й своєчасному її відновленню; виконувати відновлювальні роботи у польових умовах з мінімальними витратами часу, сил та засобів; бути укомплектованим високопродуктивним, сучасним універсальним обладнанням, що відповідає умовам його застосування; постійною готовністю до виконання функціональних завдань у відповідності з їх призначенням; можливістю ешелонування зі збереженням технологічної самостійності; можливістю виконання своїх функціональних завдань у будь-яких умовах та в будь-який час, з мінімальними невиробничими витратами часу; наявністю відповідної тактики застосування, функціональному призначенню і місцю в оперативній побудові військ засобів зв'язку та управління.

Запропоновані рекомендації дозволяють розробляти нову структуру ремонтно-відновлювальних органів, окремо для кожного випадку їх застосування в залежності від виду бойових дій та обстановки, в якій використовується військової техніки за призначенням, а також щодо ліквідації збоїв у процесі управління технічним станом військової техніки в умовах ведення бойових дій, що дозволить підвищити оперативність управління і забезпечити ефективну організацію процесу управління відновленням військової техніки.

Ключові слова: бойові дії; військова техніка; ремонтно-відновлювальний орган; технічне обслуговування; технічний стан.

Вступ. Сьогодні Збройні Сили (ЗС) України зіткнулися з серйозною проблемою щодо підтримання необхідного рівня боєздатності військової техніки (ВТ) та подовження термінів її експлуатації, оскільки значна частина ВТ використала свій ресурс [1]. За умов інтенсивності ведення бойових дій (БД), коли може мати місце масовий вихід ВТ з ладу внаслідок бойових пошкоджень чи критичних умов експлуатації, необхідні зусилля на підтримання боєздатності ВТ істотно зростають. При цьому, виникає проблема розробки рекомендацій щодо якісного виконання ремонтних робіт у конструктивних елементах ВТ та отримання кількісної оцінки можливості їх надійного використання після ремонту.

Постановка проблеми. Дослідження, пов'язані з управлінням технічним станом (ТС) і відновленням ВТ, а також визначенням факторів і умов, що впливають на цей процес, набувають все більшої актуальності. Це пов'язано з наявністю в ЗС України значної кількості ВТ, до якої відносять усі технічні засоби, призначені для забезпечення БД, навчання військ (сил). Виходячи з цього, завдання підтримання справного стану ВТ, а за необхідністю – й своєчасного її відновлення та управління ТС, є досить актуальним питанням на сучасному етапі розвитку ЗС України [2].

З цією метою було удосконалено методику визначення і корегування періодичності обслуговування ВТ, яка враховує можливість співпадіння строків проведення ТО з використанням максимальної кількості ВТ в БД, обґрунтовує можливість корегування строків

проведення ТО, викликаних нерівномірністю інтенсивності використання ВТ в БД за допомогою розрахункових співвідношень щодо визначення резервів часу [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При проведенні пошуку наукових публікацій у даній предметній галузі, не можна залишити поза увагою наукові праці відомих учених (В. Біркова [4], О. Воробйова [5], Б. Дем'янчука [6], В. Сівака [7], О. Хазановича [8] та інших) дослідників розглядаються досить ефективні підходи до управління ТС ВТ.

Проте, враховуючи результати зазначених вище наукових досліджень та досвіду проведення операції Об'єднаних сил, виникає нагальна потреба у проектуванні ремонтно-відновлювальних органів (РВО) під час управління ТС ВТ за допомогою удосконаленої методики визначення і корегування періодичності обслуговування ВТ [3].

Метою статті - розроблення практичних рекомендацій щодо проектування ремонтно-відновлювальних органів (РВО) під час управління ТС ВТ за допомогою удосконаленої методики визначення і корегування періодичності обслуговування ВТ.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розроблення практичних рекомендацій щодо проектування РВО під час управління ТС ВТ здійснювалося на основі розробленої удосконаленої методики визначення і корегування періодичності обслуговування ВТ.

Методика визначення і корегування періодичності обслуговування ВТ.

Метою удосконаленої методики визначення і корегування оптимальної періодичності обслуговування ВТ в умовах ведення БД є визначення оптимальної періодичності проведення ТО ВТ, та за необхідністю корегування строків його проведення в умовах ведення БД [3].

Вихідні дані для проведення розрахунків наступні: функція розподілу наробітку t_n об'єкта до відмови $F(t)$ (чи $\bar{F}(t)=1-F(t)$ із математичним очікуванням \bar{t}_n); щільність розподілу $f(t)=F'(t)$ випадкової величини t_n ; інтенсивність відмов об'єкта $\lambda(T)=F'(T)/\bar{F}(T)=f(T)/\bar{F}(T)$; функція розподілу тривалості відновлення t_b працездатності $F_b(t)$ (чи $\bar{F}_b(t)=1-F_b(t)$ із математичним очікуванням \bar{t}_b); функція розподілу тривалості t_{to} проведення ТО $\Phi(t)$ (чи $\bar{\Phi}(t)=1-\Phi(t)$ із математичним очікуванням \bar{t}_{to}); допустимий час відновлення працездатності t_d , що не співпадає з часом використання об'єкта за призначенням в БД; допустимий час проведення ТО t_{d1} , що не співпадає з часом використання об'єкта за призначенням в БД; кількість використаних зразків ВТ за марками n_i (од.) у визначений момент часу T (год.) за $n_i = f(T)$ чи $K_{TB}(T)$; допустиме значення коефіцієнта технічної готовності за K_{TT} на визначений період ведення БД.

Послідовність виконання процедур методики визначення і корегування оптимальної періодичності обслуговування ВТ в умовах ведення БД полягає в наступному [3]:

за допомогою рівняння (1), визначаються оптимальні значення періодичності проведення ТО без урахування строків, можливості й зручності їх проведення при використанні ВТ в ході ведення БД;

$$\frac{\bar{t}_{mo} - M \min(t_{mo}, t_{d1})}{[\bar{t}_e - M \min(t_e, t_d)] - [\bar{t}_{mo} - M \min(t_{mo}, t_{d1})]} < -1 + \lambda(\infty) \left\{ \bar{t}_n + \frac{\bar{t}_e M \min(t_{mo}, t_{d1}) - \bar{t}_{mo} M \min(t_e, t_d)}{[\bar{t}_e - M \min(t_e, t_d)] - [\bar{t}_{mo} - M \min(t_{mo}, t_{d1})]} \right\} \quad (1)$$

де $\lambda(T)=F'(T)/\bar{F}(T)=f(T)/\bar{F}(T)$ - інтенсивність відмов об'єкта; $M \min(t_e, t_d) = \int_0^{t_d} \bar{F}_e(t) dt$,

$M \min(t_{to}, t_{d1}) = \int_0^{t_{d1}} \bar{\Phi}(t) dt$. Якщо рівняння (1) має єдиний корінь T^* , то

$$\max_{T_{TB}} K_{TB}(T_{TB}) = K_{TB}(T_{TB}^*) = \frac{1 + \lambda(T_{TB}^*) [M \min(t_B, t_D) - M \min(t_{TO}, t_{D1})]}{1 + \lambda(T_{TB}^*) (\bar{t}_B - \bar{t}_{TO})}. \text{ Якщо рівняння не має}$$

коренів, то $T^* = \infty$ і $\max_{T_{TB}} K_{TB}(T_{TB}) = K_{TB}(\infty) = K_{TG} = \frac{\bar{t}_H + M \min(t_B, t_D)}{\bar{t}_H + \bar{t}_B}$. Це означає, що

абсолютний максимум комплексного показника надійності досягається, коли на об'єкті не проводиться ТО, при цьому K_{TB} вироджується у K_{TG} . Якщо рівняння (1) має декілька коренів $T_1^*, T_2^*, \dots, T_n^*$, то значення оптимальної періодичності буде чисельно дорівнювати одному з цих коренів, чи $T^* = \infty$ в залежності від того, в якій точці досягається абсолютний максимум функції $K_{TB}(T^*)$. Це легко виявити порівнянням величин $K_{TB}(T_i^*)$, $i = 1, 2, \dots, n$ і $K_{TB}(\infty)$ [8, 10];

наступним кроком, з метою визначення можливості співпадіння в часі оптимальної періодичності ТО для визначеної кількості зразків ВТ однієї марки n_i (од.) і ймовірністю їх використання за призначенням у цей момент часу, будується графік залежності $n_i = f(T)$ чи $K_{TB}(T)$ від ймовірнісної кількості використання ВТ за марками (од.) по $n_i = f(T)$ та часу використання ВТ T (год.) в умовах ведення БД, з урахуванням в якості обмеження значення коефіцієнта технічної готовності для ВТ, що використовується (рис. 1).

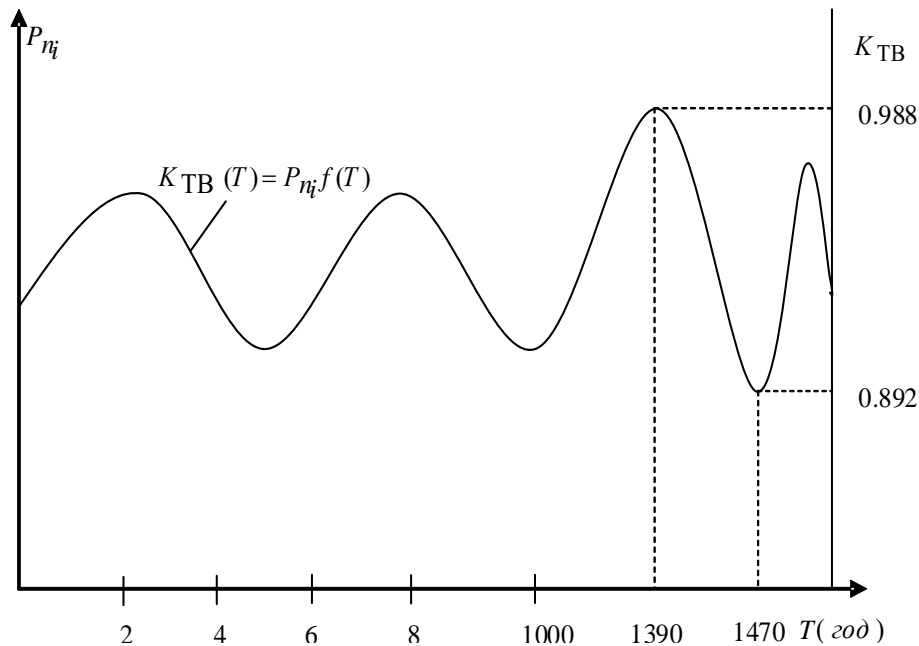


Рисунок 1 – Графік залежності $K_{TB}(T)$ чи $n_i = f(T)$ від ймовірнісної інтенсивності P_{n_i} застосування ВТ за марками n_i та часу використання ВТ T (год.) в умовах ведення БД

Якщо інтенсивність відмов $\lambda(T)$ зразка ВТ, який досліджується, є необмежено зростаючою монотонною функцією, то рівняння, що визначає оптимальне значення періодичності ТО, має єдиний корінь;

якщо строки оптимального значення періодичності ТО співпадають зі строками використання максимальної кількості ВТ, то строки проведення ТО корегуються;

на завершальному етапі методики відбувається корегування строків періодичності проведення ТО за рахунок резервів часу, що виникають внаслідок нерівномірності інтенсивності використання ВТ в умовах ведення БД;

значення періодичності проведення ТО має бути максимально наближене до визначеного свого оптимального значення, і проводиться в терміни мінімальної інтенсивності використання зразків ВТ. Стратегія ТО, що розглядається, може бути використана тільки для зразків ВТ з миттєвою індикацією відмов.

Таким чином, удосконалена методика враховує можливість співпадіння строків проведення ТО з використанням максимальної кількості ВТ в БД, обґрунтовує можливість корегування строків проведення ТО, що виникають через нерівномірність інтенсивності використання ВТ в БД за допомогою розрахункових співвідношень визначення резервів часу.

Для ефективної реалізації та практичного використання складових удосконаленої методики визначення і корегування оптимальної періодичності обслуговування ВТ [3] були запропоновані практичні рекомендації щодо проектування РВО під час управління ТС ВТ.

Рекомендації щодо проектування РВО під час управління ТС ВТ.

Підвищенні якості управління ТС ВТ досягається підтриманням необхідної кількості працездатної ВТ, часу використання за призначенням та своєчасним її відновленням в умовах ведення БД.

Зрозуміло, що основною функціональною складовою для виконання визначених вище завдань будуть РВО. Однак, наявність і обґрунтований склад РВО ще не гарантує їх ефективне застосування за призначенням і практичне використання удосконаленої методики визначення і корегування оптимальної періодичності обслуговування ВТ в умовах ведення БД.

Тому, в залежності від умов ведення БД, кількості зразків ВТ, які потребують проведення ТО, а за необхідністю – їх відновлення, для кожного конкретного випадку пропонується обґрунтування (проектування) раціонального складу та оснащення відповідного РВО.

Ступінь готовності РВО до виконання завдань має бути близьким, а іноді й перевищувати ступінь готовності бойових частин. Крім того треба враховувати, що у зв'язку з насиченням військ складною в конструктивному відношенні й високопродуктивною ВТ, збільшенням вимог до виконання завдань за призначенням, стрімко зросли й поглибились взаємні зв'язки між окремими РВО.

Виходячи із зазначеного вище, пропонується розробити рекомендації щодо проектування як тимчасового створених, так і стаціонарних РВО.

З урахуванням загальних вимог, що висувуються до РВО, слід визначити основні етапи їх розробки, які б були універсальними й відповідали різним умовам застосування ВТ при використанні її за призначенням.

Для цього, треба встановити необхідність створення РВО, і розробити документацію для створення кожного з них. Для розробки цієї рекомендації слід виходити з наступних загальних вимог, що висувуються до РВО, а саме:

забезпечити виконання військами (силами) завдань за призначенням, шляхом підтримання ВТ в справному (працездатному) стані й своєчасному її відновленню (ремонт);

виконання відновлювальних робіт у польових умовах з мінімальними витратами часу, сил та засобів;

укомплектованість високопродуктивним, сучасним універсальним обладнанням, що відповідає умовам його застосування;

постійна готовність до виконання функціональних завдань у відповідності з їх призначенням;

можливість ешелонування зі збереженням технологічної самостійності; можливість виконання своїх функціональних завдань у будь-яких умовах та в будь-який час, з мінімальними невірними витратами часу;

наявність відповідних тактиці застосування, функціональному призначенню і місцю в оперативній побудові військ засобів зв'язку та управління.

Крім того слід враховувати, що розробка ремонтного органу здійснюється на основі технічного завдання [10-13]. При цьому, розробляються наступні документи: технічні пропозиції; технічний проект; робочі креслення та документація.

Розробці технічного завдання передують визначення (розробка) тактико-технічних вимог до розробки ремонтного органу чи системи в цілому.

Розробка системи (ремонтного органу) може передбачати вирішення різноманітних завдань. У залежності від наявності вихідної інформації й поставлених цілей, завдання розробки за видами показані в табл. 1.

Таблиця 1

Завдання розробки за видами

Вид завдань	Вихідний об'єкт (ресурси)	Система (процес)	Кінцевий об'єкт
1.	дано	дано	необхідно знайти
2.	дано	необхідно знайти	необхідно знайти
3.	дано	необхідно знайти	дано
4.	необхідно знайти	дано	дано
5.	необхідно знайти	необхідно знайти	дано
6.	необхідно знайти	дано	необхідно знайти

Зміст завдань, наведених у табл. 1, залежить від того, що розуміють під “вихідним об'єктом”, “системою” і “кінцевим об'єктом”.

Якщо, наприклад, розуміти, що:

“вихідним об'єктом” є ВТ, що характеризується тими чи іншими показниками;

“системою” є сукупність ремонтних засобів РВО, що характеризуються структурними, функціональними та іншими показниками;

“кінцевим об'єктом” є технічна готовність ВТ, то завдання розробки можуть формулюватись наступним чином [7, 14].

Завдання 1-го виду: за заданими значеннями показників (сукупність ВТ, вихід її з ладу, витрати праці й часу на відновлення, можливості РВО, що складають систему) необхідно визначити, на якому рівні (порівняно з вихідним) знаходиться технічна готовність ВТ у потрібний момент часу.

Завдання 2-го виду: за заданими значеннями показників, визначити структурну побудову системи та її елементів, пристосування для обслуговування заданого “входу” і технічна готовність ВТ в необхідні моменти часу.

Завдання 3-го виду: за заданими значеннями показників визначити, якою структурою і функціональними властивостями повинна характеризуватись система й одиничні ремонтні засоби, що забезпечать необхідну технічну готовність ВТ.

Завдання 4-го виду: за заданими значеннями показників системи і одиничних ремонтних засобів, значенню технічної готовності ВТ в необхідні моменти часу визначити, для якої сукупності ВТ, інтенсивності виходу її з ладу і видів ремонту буде більш пристосована дана система. Тобто, який ремонтний фонд необхідно направляти в цю систему, щоб продукція системи відповідала визначеним вимогам.

Найбільш поширеним є завдання 5-го виду. Його мета полягає в тому, що за заданим показником необхідної технічної готовності ВТ, визначити параметри “входу” і знайти оптимальну структуру й інші властивості системи в цілому та її елементів.

Для вирішення даного завдання, необхідна наступна вихідна інформація: вихід ВТ з ладу; витрата ресурсів на відновлення ВТ; продукція, якою забезпечує система; обмеження, що накладають на прийняті рішення при розробці системи та її елементів.

Завдання 6-го виду є різновидністю 1-го і 4-го завдання.

Розробку системи можливо розглядати як процес, що складається з різноманітних за змістом та цілей операцій (етапів). Цей процес полягає в переробці інформації з метою створення нових функцій та зв'язків. За методами, що використовують при вирішенні завдань, розробка систем поділяється на синтез, аналіз і вибір, тобто, на етапи одержання попереднього рішення, перевірки та вибору найкращого варіанту.

Зміст і послідовність етапів розробки системи залежить від виду задачі і глибини її переробки. Задача 5-го виду має своєю метою знаходження вихідного об'єкту (входу) і властивостей системи при заданому кінцевому об'єкті (продукції).

Етапами процесу вирішення такої задачі будуть: визначення функціональних завдань системи та її елементів для забезпечення заданого рівня технічної готовності ВТ на визначений момент часу; визначення параметрів потоку відмов ВТ і вимог на її відновлення; визначення властивостей (показників) одиничної вимоги на ремонт; визначення параметрів потоку вимог, направлених у систему та її елементів, і пошуку загальної структури цієї системи; розробка структурно-ефективних одиничних РВО для кожного рівня системи; розробка виробничих ділянок та вибір технологічного оснащення РВО; розробка штатів, табелів, технологічної документації тощо; моделювання процесу функціонування РВО (системи) і вибір найкращого (оптимального) варіанту; створення експериментального зразка РВО (системи), проведення експерименту і прийняття рішення щодо структури, оснащення, можливостей і умов функціонування одиничного РВО та системи в цілому.

Запропоновані етапи розробки ремонтних органів для підвищення ефективності процесу відновлення ВТ, можуть бути використані в умовах ведення БД та під час організації процесу відновлення техніки в складних умовах (ліквідація наслідків надзвичайних ситуацій, експлуатація ВТ в складних кліматичних умовах у складі миротворчих місій тощо), а також для вирішення завдань під час проведення командно-штабних навчань і освітнього процесу.

Висновки. Таким чином, розроблені рекомендації щодо проектування РВО під час управління ТС ВТ, які можуть бути використані в умовах ведення БД та під час організації процесу відновлення техніки в складних умовах (ліквідація наслідків надзвичайних ситуацій, експлуатація ВТ в складних кліматичних умовах у складі миротворчих місій тощо), а також для вирішення завдань під час проведення командно-штабних навчань і навчального процесу. Це дозволить синтезувати нову структуру РВО окремо для кожного випадку їх застосування в залежності від виду БД та обстановки, в якій використовується ВТ за призначенням, що в сукупності дозволить більш раціонально впроваджувати розроблену методика [3] для їх практичного застосування.

Додатково впровадження практичних рекомендацій дозволить підвищити ефективність використання РВО та якість управління процесом ТО та відновлення ВТ в умовах ведення БД.

ЛІТЕРАТУРА

1. Державна цільова оборонна програма розвитку озброєння та військової техніки на період до 2022 року, затверджена Постановою Кабінету Міністрів України від 29.08.2018 року №722-14.
2. Баранов Ю.М. Аналіз сучасних наукових підходів щодо управління технічним станом об'єктів і шляхи їх удосконалення / Збірник наукових праць НА ДПСУ. Серія: військові та технічні науки. 2017. №1(71). С. 323–332.
3. Баранов Ю.М. Удосконалена методика визначення і корегування оптимальної періодичності обслуговування військової техніки в умовах ведення бойових дій / Збірник наукових праць НА ДПСУ. Серія: військові та технічні науки. 2018. №1(75). С. 301–310.
4. Бирков В.П. Обеспечение надёжности машин инженерного вооружения при эксплуатации. Москва: Воениздат, 1985. 280 с.
5. Воробйов О.М. Етапи розробки ремонтних органів системи відновлення. туди академії. Київ: НАОУ, 2006. №71. С. 88–92.
6. Дем'янчук Б.О. Автотехнічне забезпечення підрозділів та частин в різних умовах обстановки та ведення бойових дій. Частина 1: навч. посіб. Одеса: ВА, 2014. 262 с.
7. Сівак В.А. Основи технології виробництва та ремонту автомобілів: навч. посіб. Хмельницький: НА ПВУ, 2003. 143 с.
8. Романченко І.С., Шуєнкін В.О., Хазанович О.І., Марко І.Ю. Теоретичні основи аналізу, моделювання та синтезу системи матеріально-технічного забезпечення як просторово-розподіленої системи: монографія. Київ: ЦНДІ ЗС України, 2013. 221 с.
9. Пермяков О.Ю., Солонніков В.Г., Прібилев Ю.Б. Використання інформаційних технологій та застосування космічних систем в інтересах військ (сил): навч. посіб. Київ: НУОУ, 2014. 208 с.

10. Донченко В.С., Сидоров В.С. Теорія ймовірностей та математична статистика для соціальних наук: навч. посіб. Київ: ВПС Київський університет, 2015. 400 с.
11. Организация эксплуатации вооружения и техники. Москва: Военная академия бронетанковых войск, 1982. 419 с.
12. Інформаційно-аналітичні матеріали щодо здійснення технічного забезпечення військових частин (підрозділів) під час виконання завдань в АТО. 2014. 33 с.
13. Броньований автомобіль КраЗ “Cougar-arc”: технічний опис та інструкція з експлуатації. Хмельницький: НАДПСУ, 2014. 112 с.
14. Шинкарук О.М., Сівак В.А., Остапешевський С.А. Транспортні засоби Державної прикордонної служби. Експлуатація та надійність: навч. посіб. Хмельницький: НА ДПСУ, 2014. 207 с.

REFERENCES:

1. (2018) “Derzhavna tsilova oboronna programa rozvitku ozbroennya ta viyskovoyi tehniki na perlod do 2022 roku” [The State Target Defence Program for Armament and Military Equipment Development until 2022]. Approved by the Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 29.08.2018 року №722-14.
2. Baranov Yu.M. (2017) “Analiz suchasnih naukovih pidhodiv schodo upravlinnya tehnicnim stanom ob’ektiv i shlyahi yih udoskonalennya” [Analysis of modern scientific approaches to the management of technical condition of objects and ways to improve them.]. Collection of scientific works of the NA SGSU. Series: Military and Technical Sciences. №1(71). Pp. 323–332.
3. Baranov Yu.M. (2018) “Udoskonalena metodika viznachennya i koreguvannya optimalnoyi periodichnosti obslugovuvannya viyskovoyi tehniki v umovah vedennya boyovih diy” [Improved method of determining and adjusting the optimal frequency of maintenance of military equipment under conditions of combat actions]. Collection of scientific works of the NA SGSU. Series: Military and Technical Sciences. №1(75). Pp. 301–310.
4. Birkov V.P. (1985) “Obespechenie nadYozhnosti mashin inzhenerenogo vooruzheniya pri ekspluatatsii” [Ensuring the reliability of engineer mechanical equipment during operation]. Moscow: Military Publishing House, 280 p.
5. Vorobiov O.M. (2006) “Etapi rozrobki remontnih organiv sistemi vidnovlennya. trudi akademiyi” [Stages of development of repair recovery system bodies. Proceedings of the academy]. Kyiv: NUDU, №71. Pp. 88–92.
6. Demyanchuk B.O. (2014) “Avtotehniche zabezpechennya pidrozdiliv ta chastin v riznih umovah obstanovki ta vedennya boyovih diy. Chastina 1: navch. posib” [Automotive support of subunits and units in different conditions of environment and warfare. Part 1. Training manual]. Odessa: VA Publishing House, 2014. - 262 p.
7. Sivak V.A. (2003) “Osnovi tehnologiyi virobnitstva ta remontu avtomobiliv: navch. posib” [Fundamentals of car production and repair technology: Training manual]. Khmelnytsky: NA PVU. 143 p.
8. Romanchenko I. S., Shuenkin V. O., Khazanovich O. I., Marko I. Y. (2013) “Teoretichni osnovi analizu, modelyuvannya ta sintezu sistemi materialno-tehnicnogo zabezpechennya yak prostoro-rozpodileno-yi sistemi: monografiya” [Theoretical framework for the analysis, modeling and synthesis of logistics systems as spatially distributed systems: a monograph]. Kyiv: CRI Armed Forces of Ukraine. 221 p.
9. Permyakov O. Yu., Solonnikov V. G., Pribylyev Yu. B. (2014) “Vikoristannya informatsiynih tehnologiy ta zastosuvannya kosmichnih sistem v interesah viysk (sil): navch. posib” [Using information technology and space systems in the interests of army (forces): textbook]. Kyiv: NUDU. 208 p.
10. Donchenko V.S., Sidorov V.S. (2015) “Teoriya ymovirnostey ta matematichna statistika dlya sotsialnih nauk: navch. posib.” [Probability theory and mathematical statistics for the social sciences: textbook]. Kyiv: Air Force Kyiv University. 400 p.
11. (1982) “Organizatsiya ekspluatatsii vooruzheniya i tehniki” [Organization of weapons and equipment operation]. Moscow: Military Academy of the Armoured Forces. 419 p.
12. (2014) “Informatsiyno-analitichni materiali schodo zdiysnennya tehnicnogo zabezpechennya viyskovih chastin (pidrozdiliv) pid chas vikonannya zavdan v ATO” [Information and analytical materials on the implementation of technical support of military units during completing tasks in the ATO]. 33 p.
13. (2014) “Bronovaniy avtomobil KrAZ “Cougar-arc”: tehnicniy opis ta instruktsiya z ekspluatatsiyi” [Armoured vehicle KrAZ "Cougar-arc": technical description and operating instructions]. Khmelnytsky: NADPSU. 112 p.
14. Shinkaruk O.M., Sivak V.A., Ostashevsky S.A. (2014) “Transportni zasobi DerzhavnoYi prikordonnoYi sluzhbi. EkspluatatsIya ta nadIynIst: navch. posIb.” [Vehicles of the State Border Guard Service. Operation and reliability: textbook]. Khmelnytsky: NADPSU. 207 p.

**PhD Kryvtun V.I., PhD Baranov A.M., PhD Baranov Y.M., PhD Zhyrov G.B.
RECOMMENDATIONS ON THE DESIGN OF REPAIR AND RECOVERY BODIES DURING
TECHNICAL CONDITION OF MILITARY EQUIPMENT MANAGEMENT**

Improving the quality of managing the technical condition of military equipment is achieved by maintaining the required amount of operational military equipment, the time it is used for its intended purpose, and the timely recovery of military equipment under conditions of combat actions. The article develops recommendations for the design of repair and recovery bodies while managing technical condition of military equipment based on an improved technique for determining and adjusting the optimal frequency of military equipment maintenance. The proposed structure of repair and recovery bodies has to meet the following requirements: to ensure performing the assigned tasks by troops, through maintaining military equipment in serviceable condition and its timely recovery; to perform recovery work in the field with minimal time outlays, expenses of efforts and resources; to be equipped with high-performance, advanced versatile equipment that meets the conditions of its application; by constant readiness to perform functional tasks in accordance with their purpose; the possibility of echeloning with preservation of technological independence; the ability to perform their functional tasks in any conditions and at any time, with minimal non-productive time outlays; the availability of appropriate tactics of application, functional purpose and place in the operational forming-up of communications and command and control troops.

The proposed recommendations allow to develop a new structure of repair and recovery bodies, separately for each case of their application depending on the type of combat actions and the situation in which military equipment is used for its intended purpose, as well as to eliminate failures in the process of management of military equipment in the process of managing the technical condition of military equipment under conditions of combat actions, that will allow to increase the efficiency of management and ensure effective organization of the process of managing the recovery of military equipment.

Key words: combat actions; military equipment; repair and recovery body; maintenance; technical condition.

ОЦІНКА "ЗДАТНОСТІ ДО СУПРОВОДУ" ТА "ЗДАТНОСТІ ДО ПЕРЕМІЩЕННЯ" СПЕЦІАЛЬНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ВОЄННОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Міжнародні нормативні документи, що прийняті в області якості програмного забезпечення в Україні, характеризуються "здатністю до супроводу" та визначаються як "група властивостей програмного забезпечення, що характеризується зусиллями, потрібними для виконання конкретних модифікацій". Під модифікацією спеціального програмного забезпечення розуміються будь-які зміни, що не є адаптацією. Однією з підхарактеристик здатності до супроводу є аналізованість – "підгрупа властивостей здатності до супроводу (СПЗ), що обумовлює їх пристосованість до діагностики недоліків або відмов і виявленню частин, що мають бути змінені та прогнозу наслідків цих змін". Тестування СПЗ після внесення в нього змін є однією з багатьох технологічних операцій, що виконуються під час супроводу. На рівень тестованості, як підхарактеристики здатності до супроводу, впливає повнота та якість програмної документації, наявність засобів генерації тестових наборів, а також засобів аналізу результатів тестування; повнота тестових наборів і дотримання правил їх складення, що в свою чергу визначає трудомісткість процесу тестування. В статті показано результати оцінки "здатності до супроводу" та "здатності до переміщення" спеціального СПЗ автоматизованих інформаційних систем воєнного призначення.

Наведені в статті метрики дозволяють оцінити та отримати чисельні значення цих параметрів. На їх основі можливо порівнювати відповідні програми за цією характеристикою якості. Крім того, в роботі розглянуті метрики, що базуються на аналізі вихідних текстів програм, графів та супроводжувальної документації, що забезпечує єдиний підхід до автоматизації їх обчислення.

Ключові слова: спеціальне програмне забезпечення, автоматизовані інформаційні системи, модифікація, тестування, метрики.

Вступ. В попередній статті авторів [1] було досліджено теоретичні основи та показана практична реалізація системи оцінки «практичності» та «коректності» спеціального забезпечення автоматизованих інформаційних систем воєнного призначення.

Авторами заплановано видання серії наукових статей, які в цілому спрямовані на розв'язання наступних взаємопов'язаних задач:

1. Визначення номенклатури комплексних показників у вигляді ієрархічної схеми до рівня, коли останні можна спроекувати на числовий інтервал.
2. Проведення класифікації спеціального програмного забезпечення (СПЗ) воєнного призначення та визначення пріоритетності показників-складових в ієрархічній схемі СПЗ воєнного призначення в залежності від специфіки його застосування.
3. Створення методик оцінки якості за інтегральним показником для будь-якого типу (класу) СПЗ.
4. Розробка моделі оцінки якості СПЗ у вигляді сукупності методик числового оцінювання показників-складових.
5. Створення методологічного апарату підвищення ефективності та гарантування цільової якості СПЗ.

Аналіз відомих досліджень та постановка задач. У останніх наукових розробках та публікаціях, що відомі авторам [1-5], розглянуті питання забезпечення практичності та коректності спеціального програмного забезпечення та зроблені основи оцінки здатності по

супроводу та переміщенню програмного забезпечення автоматизованих інформаційних систем [6-8]. У фундаментальній роботі Державного інституту стратегічного дослідження за редакцією Академіка Горбуліна В.П. [9] розглянуто низка гуманітарних, політичних, економічних, військових та безпекових питань. Деякі розділи цієї роботи присвячені питанням забезпечення інформаційної безпеки, кіберзлочинності та якості програмного забезпечення систем воєнного призначення. Аналіз проблеми в цілому ставить низку актуальних завдань створення воєнної науково-технічної системи формальних методів та засад, яка б гарантувала належний рівень якості СПЗ відповідно до його цільового призначення, та забезпечила можливість коректної та адекватної її оцінки.

Дійсна стаття присвячена одному із цих напрямків оцінки "здатності до супроводу" та "здатності до переміщення" спеціального програмного забезпечення автоматизованих інформаційних систем воєнного призначення.

Основні результати досліджень. Згідно міжнародних стандартів, та нормативних документів, які прийняті в області якості програмного забезпечення в Україні, характеристика "здатність до супроводу" визначається як "група властивостей програмного забезпечення, що характеризується зусиллями, потрібними для виконання конкретних модифікацій". При цьому підкреслюється, що "під модифікацією ПЗ розуміються будь-які зміни, що не є адаптацією (зміни, що проводяться виключно з метою забезпечення функціонування СПЗ на конкретних технічних засобах або під керуванням конкретних ПЗ)" [10].

Однією з підхарактеристик здатності до супроводу є *аналізованість* – "підгрупа властивостей здатності до супроводу СПЗ, що обумовлює їх пристосованість до діагностики недоліків або відмов і виявленню частин, які мають бути змінені, і прогнозу наслідків цих змін" [10]. Для кількісної оцінки цієї підхарактеристики пропонується використовувати такі показники:

1. Коефіцієнт повноти документації, $K_{fulldoc}$. Враховується наявність тексту програм (0, 1), опису програми (0, 1), керівництво програміста (0, 1), керівництво системного програміста (0, 1):

$$K_{fulldoc} = \frac{\sum_{i=1}^4 N_i^{(doc)}}{4}, \quad (1)$$

де $N_i^{(doc)}$ - одиничні показники ступеню реалізації повноти документації.

2. Середній час локалізації несправності, \overline{T}_{loc} , який розраховується за формулою:

$$\overline{T}_{loc} = \frac{1}{N_{fault}} \sum_{i=1}^{N_{fault}} t_i^{(fault)}, \quad (2)$$

де N_{fault} - кількість несправностей, що були локалізовані за певний період експлуатації програмного виробу;

$t_i^{(fault)}$ - час локалізації i -ї несправності.

На основі значення показника \overline{T}_{loc} можливо зробити висновок також про ступінь зрозумілості як підхарактеристики практичності СПЗ.

Підхарактеристика *коригованість* або *відкритість* СПЗ характеризується "зусиллями, необхідними для усунення недоліків, які виявлені в ПЗ" [9,10]. Для її оцінки пропонується використовувати коефіцієнт відкритості, K_{corr} , який характеризує пристосованість програмного виробу до внесення виправлень, змін та доповнень як до тексту програми, та і до супроводжувальної документації:

$$K_{corr} = \frac{\overline{Prod}_{corr}}{Prod_{start}}, \quad (3)$$

де $Prod_{corr}$ - середня продуктивність праці програмістів під час коригування програми;

$Prod_{start}$ - середня продуктивність праці програмістів під час написання початкового тексту програми.

Тестування СПЗ після внесення в нього змін є однією з багатьох технологічних операцій, що виконуються під час супроводу. На рівень *тестованості* як підхарактеристики здатності до супроводу СПЗ впливає повнота та якість програмної документації, наявність засобів генерації тестових наборів, а також засобів аналізу результатів тестування; повнота тестових наборів і дотримання правил їх складення, що в свою чергу визначає трудомісткість процесу тестування [11]. Поняття повноти тестового набору пов'язане з можливістю перекриття всіх логічних зв'язків у програмі. Тому пропонується оцінювати ступінь повноти тестів за допомогою відповідного коефіцієнта $K_{fulltest}$, який розраховується за формулою:

$$K_{fulltest} = \frac{N_m}{N_{test}}, \quad (4)$$

де N_m - загальна кількість логічних маршрутів в програмі;

N_{test} - загальна кількість підготовлених тестових наборів.

Процес тестування передбачає підготовку набору тестів, машинний експеримент на тестовому наборі та аналіз результатів тестування. Тому одним з показників технологічності супроводу є трудомісткість тестування, оцінювати яку пропонується за допомогою відповідного коефіцієнту, K_{test} :

$$K_{test} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{new}} T_i}{\sum_{j=1}^{N_{test}} T_j}, \quad (5)$$

де T_i - трудомісткість підготовки, прогону та аналізу результатів i -го тесту, результатом виконання якого стало виявлення помилки;

N_{new} - кількість тестів, що привели до виявлення нових помилок;

T_j - трудомісткість підготовки, прогону та аналізу результатів j -го тесту з повного набору підготовлених тестів.

Згідно стандарту ISO/IEC JTC1/SC7/WG6 – Evaluation and Metrics [12] "метрики *стабільності* повинні надавати можливість оцінити неочікуваний режим роботи системи, включаючи програмне забезпечення в ході його тестування або функціонування після модернізації". Показником, що характеризує стабільність програмного продукту під час розробки нових версій і враховує зміни, зроблені у ході його удосконалення, згідно стандарту ISO/IEC JTC1/SC7/WG6 – Evaluation and Metrics є індекс завершеності SMI , що розраховується за формулою:

$$SMI = \frac{[M_t - (F_a + F_c + F_d)]}{M_t}, \quad (6)$$

де M_t - кількість модулів поточної версії;

F_c - кількість модулів поточної версії, що зазнали змін;

F_a - кількість доданих модулів поточної версії;

F_d - кількість модулів попередньої версії, вилучених із поточної версії.

Будемо вважати, що продукт має тенденцію до стабілізації, якщо індекс завершеності наближається до 1.

Показники *структурності (модульності)* характеризують ступінь досконалості методів декомпозиції та організації взаємозв'язків між компонентами програмного продукту. Для кількісної оцінки цієї підхарактеристики здатності до супроводу СПЗ пропонується використовувати коефіцієнт модульності K_{module} :

$$K_{module} = \frac{m_{str}}{m}, \quad (7)$$

де m_{str} - кількість модулів (складових частин) програмного продукту, при кодуванні яких було дотримано правил структурного програмування;

m - загальна кількість модулів в програмному продукті.

Однією з основних цілей науково-технічної підтримки створення СПЗ є зменшення його складності, як підхарактеристики здатності до супроводу. Саме це дозволяє знизити трудомісткість проектування, розробки, іспитів та супроводження, забезпечити простоту та надійність СПЗ. Цілеспрямоване зниження складності СПЗ являє собою багатокрокову процедуру і потребує попереднього дослідження існуючих показників складності, проведення їх класифікації та співвіднесенням з типами СПЗ і використанням на різних етапах життєвого циклу.

Теорія складності програм орієнтована на управління якістю СПЗ та контроль її еталонної складності в період експлуатації. На теперішній час існує велика кількість показників, які тією чи іншою мірою описують складність програм і за цих умов для їх використання потребується попереднє упорядкування.

При оцінці складності СПЗ будемо виділяти дві основні групи метрик:

- метрики розміру СПЗ;
- метрики складності потоку управління СПЗ;

Метрики *розміру СПЗ* найбільш прості і, очевидно, тому отримали широке розповсюдження. Традиційною характеристикою розміру програм є кількість інтелектуальних елементів вихідного тексту. Під такими елементами будемо розуміти будь-який виконуємий оператор. Очевидно, що оцінка розміру СПЗ недостатня для прийняття рішення щодо його складності, але може бути застосована для класифікації СПЗ, які суттєво відрізняються об'ємами. При зменшенні різниці в об'ємах на перший план висуваються оцінки інших факторів, які впливають на складність. Таким чином, метрика розміру СПЗ є оцінкою за номінальною шкалою, на основі якої визначаються тільки категорії СПЗ без уточнення оцінки для кожної категорії. Найбільш відомою серед оцінок складності програм є метрика М. Холстеда [13]. Її основу складають чотири характеристики програми:

- n_1 – кількість унікальних операторів програми (словник операторів);
- n_2 – кількість унікальних операндів програми (словник операндів);
- N_1 – загальна кількість операторів у програмі;
- N_2 - загальна кількість операндів у програмі.

Спираючись на ці характеристики (які можливо отримати безпосередньо в результаті аналізу вихідних текстів програм), М. Холстед вводить наступні оцінки [13]:

словник програм:

$$n = n_1 + n_2 ,$$

довжину програми:

$$N = N_1 + N_2 , \quad (8)$$

об'єм програми:

$$V = N \log_2(n) (\text{біт}). \quad (9)$$

Під бітом розуміється логічна одиниця інформації – символ, оператор, операнд.

Далі М. Холстед вводить n^* - теоретичний словник програми, тобто словарний запас, який необхідний для написання програми з урахуванням того, що необхідна функція вже реалізована в даній мові програмування. Наприклад, можливе здійснення процедури визначення визначення положення (у вигляді цілого числа) першого входження символного рядку всередині іншого символного виразу або Метод-поля (СУБД Visual FoxPro) може

оцінюватись так:

АТС (X, Y, n),

де X – символний рядок;

Y – символний вираз або Мето-поле;

n – номер позиції.

Теоретичний словник в цьому випадку буде складатися з: $n_1^* : \{\text{АТС}(\dots)\}=1$; $n_2^* : \{X, Y, n\}=3$, а його довжина $n^* = n_1^* + n_2^* = 1+3=4$. Використовуючи n^* , М. Холстед вводить оцінку V^* , за допомогою якої описується потенційний об'єм коду, який відповідає максимально компактному тексту програми, що реалізує даний алгоритм:

$$V^* = n^* \log_2(n^*). \quad (10)$$

За допомогою метрик складності потоку управління СПЗ оперують щільністю керуючих переходів всередині програм або взаємозв'язками цих переходів. В обох випадках програму можливо представити у вигляді керуючого орієнтованого графа $G = (V, E)$, де V - вершини, що відповідають операторам, E - дуги, що відповідають переходам. Вперше графічне представлення програм було запропоновано Мак-Кейбом. В якості основної метрики складності він пропонує застосовувати цикломатичну складність графа програми (цикломатичне число Мак-Кейба, яке характеризує трудомісткість тестування програми). Для обчислення цикломатичного числа Мак-Кейба $Z(G)$ застосовується формула:

$$Z(G) = N_{\text{arc}} - N_{\text{gn}} + 2p,$$

де N_{arc} – число дуг орієнтованого графа G ;

N_{gn} – число вершин графа;

p – число компонентів зв'язності графа.

В якості числа компонентів зв'язності графа пропонується застосовувати кількість дуг, які необхідно додати для перетворення графа у сильнозв'язний (граф, будь-які дві вершини якого взаємно досяжні). Ця посилка пояснюється тим, що граф коректної програми не має недосяжних від точки входу ділянок. Сильнозв'язаний граф коректної програми отримується, як правило, шляхом замикання дугою вершини, що позначає кінець програми, на вершину, що позначає точку входу в цю програму. По суті $Z(G)$ визначає число лінійно незалежних контурів в сильнозв'язному графі, тобто потрібну кількість проходів для покриття всіх контурів графа або кількість тестових прогонів програми, які необхідні для вичерпного тестування за критерієм "працює кожна гілка". Недоліком цикломатичного числа є те, що воно залежить тільки від кількості предикатів, складність яких не враховується. Наприклад, є два оператори умови:

```
IF X>0
  THEN X=A
  ELSE
```

...

```
ENDIF
```

та

```
IF ((X>0) AND (IND=1)) OR ((X=0) AND (IND=0))
  THEN X=A
  ELSE
```

...

```
ENDIF
```

Обидва оператори припускають єдине розгалуження і можуть бути представлені одним і тим же графом, тому цикломатичне число буде для обох операторів однаковим, не відображаючи складності предикатів, що дуже суттєво при оцінці складності програм.

Ще однією достатньо ефективною оцінкою складності програм є метрика Т. Джилба, в якій логічна складність програми визначається як насиченість коду виразами типу IF-THEN-ELSE. При цьому вводяться дві характеристики: абсолютна складність програми, яка характеризується кількістю операторів умови, C_{abs} та відносна складність програми, яка характеризується насиченістю коду операторами умови, C_{rel} . Тобто, C_{rel} визначається як:

$$C_{rel} = \frac{C_{abs}}{N_{oper}}, \text{ де } N_{oper} - \text{загальна кількість операторів в програмі.}$$

Характеристика "здатність до переміщення" характеризується як "група властивостей програмного забезпечення, що обумовлює його пристосованість для переносу із одного середовища в інше". При цьому під переносом розуміється "сукупність дій, які спрямовані на забезпечення функціонування ПЗ у середовищі, яке відмінне від того, в котрому воно використовувалося раніше, без суттєвих відмінностей у поведінці" [10,14]. При кількісній оцінці цієї характеристики якості СПЗ обов'язково слід враховувати, що адаптація програмного виробу до нового середовища має сенс тільки у тому випадку, коли витрати на адаптацію не перевищують витрат на розробку нового програмного виробу. Враховуючи це, пропонується оперувати коефіцієнтом адаптованості, K_{adapt} :

$$K_{adapt} = 1 - \frac{R_{adapt}}{R_{start}}, \quad (11)$$

де R_{adapt} - витрати ресурсів, необхідних для адаптації програмного виробу до нового середовища експлуатації;

R_{start} - витрати ресурсів на створення нового програмного виробу у новому середовищі.

Зусилля щодо адаптації ПВ до нового середовища функціонування можуть бути зменшені завдяки уніфікації програмних виробів та їх компонентів шляхом створення типових модулів, які можуть використовуватись в кількох програмних виробках. Оцінка ступеню уніфікації ПВ може бути здійснена за допомогою коефіцієнту уніфікації, K_{unif} :

$$K_{unif} = \frac{n - n_o}{n}, \quad (12)$$

де n - загальна кількість модулів в ПВ;

n_o - кількість оригінальних складових частин ПВ.

Ступінь універсалізації алгоритму роботи та програмного коду ПВ можливо оцінити за допомогою відповідного коефіцієнту, K_{globb} :

$$K_{globb} = \frac{N_{globb}}{n}, \quad (13)$$

де N_{globb} - кількість підпрограм, пристосованих для використання в будь-яких модулях програмного виробу.

Таким чином, наведені метрики дозволяють оцінити та отримати чисельні значення здатності до супроводу та здатності до переміщення СПЗ, на основі яких можливо порівнювати програми за цією характеристикою якості. Крім того, розглянуті метрики базуються на аналізі вихідних текстів програм, графів та супроводжувальної документації, що забезпечує єдиний підхід до автоматизації їх обчислення.

Висновки. Дана стаття є другою в серії наукових робіт авторів за наступними напрямками: визначення номенклатури комплексних показників у вигляді ієрархічної схеми до рівня, коли останні можна спроектувати на числовий інтервал; проведення класифікації СПЗ воєнного призначення та визначення пріоритетності показників-складових в ієрархічній схемі СПЗ воєнного призначення в залежності від специфіки його застосування; створення методик оцінки якості за інтегральним показником для будь-якого типу (класу) СПЗ; розробка

моделі оцінки якості СПЗ у вигляді сукупності методик числового оцінювання показників-складових; створення методологічного апарату підвищення ефективності та гарантування цільової якості СПЗ.

Наведені метрики дозволяють оцінити та отримати чисельні значення здатності до супроводу та здатності до переміщення СПЗ, на основі яких можливо порівнювати програми за цією характеристикою якості. Крім того, розглянуті метрики базуються на аналізі вихідних текстів програм, графів та супроводжувальної документації, що забезпечує єдиний підхід до автоматизації їх обчислення.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Ленков С.В., Гришак О.М., Жиров Г.Б., Пампуха І.В. Оцінка "практичності" та "коректності" спеціального програмного забезпечення автоматизованих інформаційних систем воєнного призначення. Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. К.: ВІКНУ, 2022. № 74. С. 83-89.

2. Leffingwell D. Calculating the return on investment from more effective requirements management. *American Programmer*, №10(4), 1997. Pp. 13-16.

3. Barlas S. Anatomy of a Runaway: What Grounded the AAS // *IEEE Software*, January 1996. - Pp. 104-106.

4. Grady R.B. An economic release decision model: insights into software project management // In proceedings of the applications of software measurement conference, Orange Park, FL: Software Quality Engineering, 1999. Pp. 227-239.

5. Gibbs W. Software's Chronic Crisis // *Scientific America*, September 1994. - P. 86-95.

6. Основы инженерии качества программных систем / Ф.И. Андон, Г.И. Коваль, Г.М. Коротун, В.Ю. Суслов: НАН Украины, Институт программных систем. - К.: Академперіодика, 2002. - 503с.

7. Інформаційні технології. Оцінювання процесів життєвого циклу програмних засобів. – Офіційне видання. – К.: Держспоживстандарт України, 2004. (Національний стандарт України).

8. Толубко В. Б., Сбітнев А. І., Пермяков О. Ю. Методологічні основи проектування прикладного програмного забезпечення для АСУ воєнного призначення: Монографія, - К.: НАОУ, 2004. -249 с.

9. Світова гібридна війна: український фронт / За заг.ред. В.П. Горбуліна. Національний інститут стратегічних досліджень. – К.: НІСД, 2017. – 496 с.

10. ДСТУ 2850-94 Програмні засоби ЕОМ. Показники і методи оцінювання якості.

11. Молодцова О.П. Управління якістю програмної продукції: Навч. посібник // Київський національний економічний університет. – К.: КНЕУ, 2001. – 248с.

12. ISO/IEC 9126-2 Information Technology – Software quality characteristics and metrics – Part 2: External metrics.

13. Холстед М.Х. Начало науки о программах. – М.: Финансы и статистика, 1981. – 128с.

14. Характеристики качества программного обеспечения / Б. Бозм, Дж. Браун, Х. Каспар и др. Пер. с англ. Е.К. Масловского. - М.: Мир, 1981. – 206 с.

REFERENCES:

1. Ljenkov S.V., Gryshhak O.M., Zhyrov G.B. and Pampuha I.V. (2022). Ocinka "praktychnosti" ta "korektnosti" special'nogo programnogo zabezpechennja avtomatyzovanyh informacijnyh system vojennogo pryznachennja. *Collection of scientific works of the Military Institute of Kyiv National Taras Shevchenko University*. Kyiv: MIKNU. No 74. Pp. 83-89.

2. Leffingwell D. Calculating the return on investment from more effective requirements management. *American Programmer*, №10(4), 1997, Pp. 13-16.

3. Barlas S. Anatomy of a Runaway: What Grounded the AAS // *IEEE Software*, January 1996. Pp. 104-106.

4. Grady R.B. An economic release decision model: insights into software project management // In proceedings of the applications of software measurement conference, Orange Park, FL: Software Quality Engineering, 1999. Pp. 227-239.

5. Gibbs W. Software's Chronic Crisis // *Scientific America*, September 1994. Pp. 86-95.

6. Andon F.I., Koval' G.I., Korotun G.M. and Suslov V.Ju. (2002) *Osnovy inzhenerii kachestva programmnyh sistem*. NAN Ukrainy, Institut programmnyh sistem. Kyiv, Akademperiodika. 503 p.

7. Informacijni tehnologii'. (2004). Ocinjuvannja procesiv zhyttjevogo cyklu programnyh zasobiv. Oficijne vydannja. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrai'ny, (Nacional'nyj standart Ukrai'ny).
8. Tolubko V.B., Sbitnjev A.I. and Permjakov O.Ju. (2004). Metodologichni osnovy proektuvannja prykladnogo programnogo zabezpechennja dlja ASU vojnogo pryznachennja. Kyiv: NAOU, 249 p.
9. Svitova gibrydna vijna: ukrai'ns'kyj front. Za zag.red. V.P. Gorbulina. (2017). Nacional'nyj instytut strategichnyh doslidzhen'. Kyiv: NISD, 496 p.
10. DSTU 2850-94 Programni zasoby EOM. Pokaznyky i metody ocinjuvannja jakosti.
11. Molodcova O.P. (2001). Upravlinnja jakistju programnoi' produkci'. Kyi'vs'kyj nacional'nyj ekonomichnyj universytet. Kyiv, KNEU, 248p.
12. ISO/IEC 9126-2 Information Technology – Software quality characteristics and metrics – Part 2: External metrics.
13. Holsted M.H. (1981). Nachalo nauky o programmah. M.: Fynansy y statystyka, 128 p.
14. B. Воэм, Dzh. Braun, H. Kaspar y dr. (1981). Harakterystyky kachestva programnogo obespechenja. Per. s angl. E.K. Maslovskogo. M.: Myr, 206 p.

Doctor of Technical Science, Professor Lienkov S.V.,
Doctor of Technical Science, Professor Gusak Yu.A.,
Doctor of Technical Science, Professor Selyukov O.V.,
PhD Pampukha I.V., Solodeeva L.V.

ASSESSMENT OF "MAINTENANCE CAPACITY" AND "MOVABILITY" OF SPECIAL SOFTWARE FOR AUTOMATED INFORMATION SYSTEMS IN SYSTEMS

International normative documents adopted in the field of software quality in Ukraine are characterized by "ability to maintain" and are defined as "a group of software properties characterized by the effort required to perform specific modifications." Modification of special software means any changes that are not adaptations. One of the sub-characteristics of the ability to support is analysis - "a subset of properties of the ability to support (SDR), which determines their suitability for diagnosing defects or failures and identifying parts to be changed and predict the consequences of these changes." Testing of SDRs after making changes to it is one of the many technological operations performed during maintenance. The level of testing, as a sub-characteristic of the ability to support, is influenced by the completeness and quality of software documentation, the availability of tools for generating test kits, as well as tools for analyzing test results; completeness of test kits and compliance with the rules of their compilation, which in turn determines the complexity of the testing process. The article shows the results of the assessment of the "ability to support" and "ability to move" special SDR automated information systems for military purposes.

The metrics presented in the article allow us to evaluate and obtain numerical values of these parameters. Based on them, it is possible to compare the relevant programs for this quality characteristic. In addition, the paper considers metrics based on the analysis of the source texts of programs, graphs and supporting documentation, which provides a unified approach to automating their calculation.

Keywords: special software, automated information systems, modification, testing, metrics.

ВПЛИВ ОСНОВНИХ СИЛОВИХ ПАРАМЕТРІВ КЕРОВАНОЇ СИСТЕМИ ПІДРЕСОРИЮВАННЯ НА ПОЗДОВЖНЬО– КУТОВІ КОЛИВАННЯ БОЙОВИХ КОЛІСНИХ МАШИН

У роботі наведено результати теоретичних досліджень впливу основних силових параметрів керованої системи підресорювання на поздовжньо-кутові коливання бойових колісних машин. Проведено аналіз характеру ведення сучасної збройної боротьби та змінених умов застосування бойових колісних машин. Обґрунтовано актуальність підвищення їх рухомості за рахунок покращення показників плавності ходу шляхом використання керованої системи підресорювання. Проведено аналіз відомих науково-методичних підходів щодо опису динаміки колісних машин. За результатами проведеного аналізу встановлено їх недосконалість. Вони ґрунтуються на лінійних залежностях та не дозволяють враховувати вплив основних силових параметрів керованої системи підресорювання на поздовжньо-кутові коливання колісних машин.

Запропоновано фізичну модель бойової колісної машини та аналітичні залежності для оцінки впливу параметрів керованої системи підресорювання на поздовжньо-кутові коливання бойових колісних машин. На відміну відомих отримані залежності мають нелінійний характер та дозволяють враховувати вплив поздовжньо-кутових коливань бойових колісних машин. За результатами аналізу отриманих аналітичних залежностей встановлено, що на відміну від системи підресорювання із лінійним законом відновлювальної сили пружних амортизаторів для адаптивної системи підресорювання власна частота поздовжньо-кутових коливань залежить не тільки від статичної деформації пружних амортизаторів, але й і амплітуди коливань. Також встановлено, що для бойових колісних машин із керованою силовою характеристикою системи підресорювання амплітуда початкового збурення коливань є більшою для систем підресорювання із більшим значенням статичної деформації. Отримано математичне співвідношення для визначення амплітуди початкового збурення поздовжньо-кутових коливань, які зумовлені наїздом бойової колісної машини на поодинокі нерівності опорної поверхні.

Отримані аналітичні залежності в подальшому можуть бути використані для створення програмного продукту, необхідного для розроблення керованої системи підресорювання.

Ключові слова: бойові колісні машини, керована система підресорювання, поздовжньо-кутові коливання, аналітичні залежності.

Вступ. Досвід останніх воєнних конфліктів, зокрема, війна Російської Федерації проти України свідчить, що бойові колісні машини (БКМ) продовжують відігравати важливу роль у вирішенні широкого спектру бойових завдань, що покладаються на підрозділи силових структур.

Широке застосування у військовій сфері досягнень в області інформаційних технологій привело до суттєвого підвищення ефективності сучасних систем озброєння, зміни характеру ведення збройної боротьби. Суттєве збільшення дальності, швидкості, точності та вибіркості впливу сучасних систем озброєння обумовило розширення просторових, скорочення часових показників вирішення завдань і необхідність ведення бойових дій невеликими підрозділами (бойовими групами – БТГр, РТГр).

Зміни умов бойового застосування БКМ полягають у різкому підвищенні можливостей засобів їх ураження, зростанні кількості різнотипних цілей, зміні законів розподілу попадань за кутами обстрілу, а також переході від лінійної взаємодії конфліктуючих сторін до просторової зонально-об'єктової взаємодії автономних бойових груп, які одночасно ведуть розвідувально-ударні, переважно неконтактні, дії на різних напрямках [1].

Однією з основних вимог, яку висувають змінені умови бойового застосування є пристосованість БКМ до високомобільних автономних дій у складі розосереджених бойових груп. Отже, підвищення рухомості БКМ є актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень, виділення не вирішених раніше частин проблеми. Відомо [2], що важливим фактором, що впливає на рухомість БКМ, як здатність переміщуватись по дорогах та місцевості, є плавність ходу.

Одним з перспективних шляхів підвищення плавності ходу колісних машин є застосування керованих підвісок [3-4], які здатні підлаштовувати основні силові параметри підвіски таким чином, щоб динамічна дія на екіпаж (десант) та вантажі (озброєння, обладнання), які транспортуються була мінімальною.

Очевидно, що основою для “підлаштування” параметрів підвіски повинна бути фізична та відповідна їй математична моделі динаміки БКМ вздовж шляху із нерівностями, а від так, отримані на базі вказаного вище, аналітичні залежності, які описують реакцію підресореної частини на той чи інший вид збурень руху. Проведений аналіз існуючих науково-методичних підходів аналітичних досліджень динаміки колісних машин для різних фізичних моделей [5-8], показав, що вони розроблені в основному для малих коливань за лінійних залежностей відновлювальних сил від деформації пружних амортизаторів чи відповідно швидкості деформації демпферних пристроїв.

Тільки в окремих роботах [9-12] за найпростіших фізичних, а від так, для відповідних нелінійних математичних моделей динаміки колісних машин, розроблена методика аналітичного дослідження впливу нелінійно-пружних сил амортизаторів на вертикальні, поперечно-кутові коливання та стійкість руху колісних машин вздовж криволінійних ділянок шляху. Отримані у зазначених роботах результати показують, що пружні амортизатори із нелінійним законом зміни відновлювальної сили впливають не тільки на кількісні характеристики коливань підресореної маси, але й надають їм якісно нового відтінку – частота залежить від амплітуди. До того ж, критична швидкість стійкого руху вздовж криволінійних ділянок шляху за рахунок коливань підресореної частини значно зменшується.

Мета статті. Враховуючи зазначене, метою статті є отримання аналітичних залежностей нелінійної відновлювальної сили пружних амортизаторів від поздовжньо-кутових коливань.

Виклад основного матеріалу. Постановка задачі. На рис. 1а наведено фізичну модель БКМ, яка являє собою непідресорену, підресорену маси, що взаємодіють між собою пружними амортизаторами та демпферними пристроями. Необхідно отримати такі аналітичні залежності, які б дозволили створити програмний продукт керованої системи підресорування.

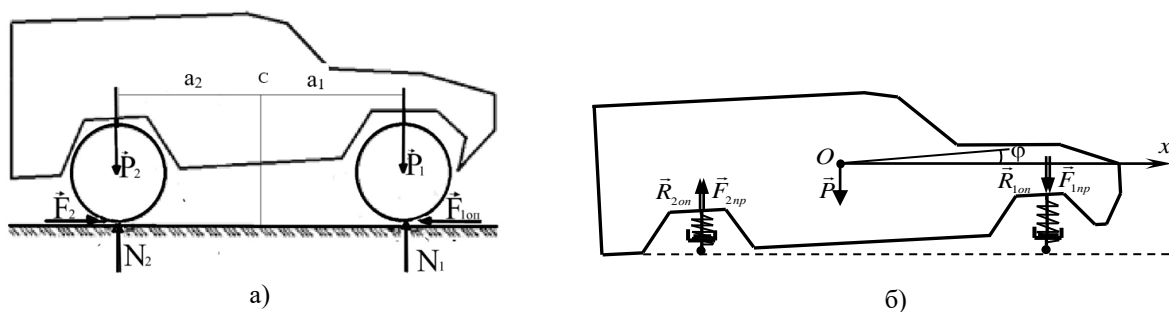


Рисунок 1 – Розрахункова модель БКМ для дослідження поздовжньо-кутових коливань підресореної маси та розподіл зовнішніх сил, які діють на них

Основні припущення щодо фізичної моделі та руху досліджуваного об’єкту:

1. Маса підресореної частини розподілена симетрично відносно вертикальної площини, яка проходить через центр її маси і колінеарна вектору швидкості руху, а маса непідресореної частини є значно меншою від маси підресореної. Тому нею у процесі розв’язування задачі нехтуємо.

2. Силкові характеристики амортизаторів та демпферних пристроїв правого та лівого бортів ідентичні та описуються залежностями: $F_i\left(\Delta_i, \frac{d\Delta_i}{dt}\right) = \left(\alpha_i + \beta_i\left(\frac{d\Delta_i}{dt}\right)^{v_1}\right)\Delta_i^{v_2+1}$ - пружна

сила амортизаторів; $R_i(\dot{\Delta}_i) = \gamma_i\left(\frac{d\Delta_i}{dt}\right)^s$ - сила опору демпферних пристроїв ($\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$ - сталі,

Δ_i та $\frac{d\Delta_i}{dt}$ відповідно деформація та швидкість деформації пружних амортизаторів чи демпферних пристроїв ($i=1$ - для передньої підвіски та $i=2$ - для задньої), до того ж максимальне значення сил опору демпферних пристроїв є значно меншим від максимального значення відновлювальної сили пружних амортизаторів.

3. Деформації пружних шин є набагато меншими від максимальних деформацій пружних амортизаторів, тому ними під час розв'язування поставленої задачі нехтуємо.

4. Лінійне відносне переміщення центру мас підресореної частини є малими і ними в процесі вивчення динаміки підресореної частини можна знехтувати.

5. Збурення руху підресорена частина отримує за рахунок одночасного наїзду шин правого та лівого бортів на нерівності.

В такому разі підресорена частина здійснює відносно непідресореної поздовжньо-кутові коливання, а отже її відносне положення у довільний момент часу однозначно визначається кутом повороту $\varphi(t)$ (рис.1.б) навколо поперечної осі, яка походить через центр ваги підресореної частини. Деформації ж пружних елементів та швидкості деформацій амортизаторів у довільному положенні підресореної маси визначаються через геометричні та силкові параметри системи підресорювання залежностями: $\Delta_i = a_i\varphi(t) + (-1)^i \Delta_{cm.}$, $\frac{d\Delta_i}{dt} = a_i \frac{d\varphi(t)}{dt}$ (a_i, c - параметри, які визначають положення центра мас (рис. 1), $\Delta_{cm.}$ - статична деформація пружних амортизаторів).

Наведене вище, а також співвідношення, які виражають деформації пружних амортизаторів та швидкості деформації демпферів із кутом повороту $\varphi(t)$, дозволяє диференціальне рівняння відносних малих поздовжньо-кутових коливань записати у вигляді:

$$I_C \frac{d^2\varphi}{dt^2} = -a_1 \left[\left(\alpha_1 + \beta_1 \left(a_1 \frac{d\varphi(t)}{dt} \right)^{v_1} \right) (a_1\varphi(t) - \Delta_{cm.})^{v_2+1} - \gamma_1 \left(a_1 \frac{d\varphi(t)}{dt} \right)^s \right] - a_2 \left[\left(\alpha_2 + \beta_2 \left(a_2 \frac{d\varphi(t)}{dt} \right)^{v_1} \right) (a_2\varphi(t) + \Delta_{cm.})^{v_2+1} - \gamma_2 \left(a_2 \frac{d\varphi(t)}{dt} \right)^s \right] \quad (1)$$

Нехай центр ваги знаходиться на однакових віддальях від точок приєднання елементів системи підвіски до підресореної частини. Тоді заміною змінних $\Theta = a\varphi(t) - \Delta_{cm.}$ для випадку $a = a_1 = a_2$ диференціальне рівняння (1) приводиться до вигляду:

$$\frac{d^2\Theta}{dt^2} + \Omega^2 \left(\frac{d\Theta}{dt} \right)^{v_1} (\Theta)^{v_2+1} = -\frac{1}{I_C} F\left(\Theta, \frac{d\Theta}{dt}\right) \quad (2)$$

$$\text{де } F\left(\Theta, \frac{d\Theta}{dt}\right) = -\left[\left(\alpha_1 (\Theta)^{v_2+1} + \alpha_2 (\Theta + 2\Delta_{cm.})^{v_2+1} \right) + (\gamma_1 + \gamma_2) \left(\frac{d\Theta}{dt} \right)^s \right] +$$

$$+ 2(v_2 + 1)A_{cm} \Theta^{v_2} \left\{ \left(\alpha_2 + \beta_2 \left(\frac{d\Theta}{dt} \right)^{v_1} \right) (\Theta + 2A_{cm})^{v_2+1} \right\}, \quad \Omega^2 = \frac{(\beta_1 + \beta_2)}{I_C}.$$

Права частина диференціального рівняння (2), в силу прийнятих вище припущень, приймає максимальне значення, яке є малою величиною у порівнянні із максимальним значенням функції $\Omega^2 \left(\frac{d\Theta}{dt} \right)^{v_1} (\Theta)^{v_2+1}$. Вказане є підставою для використання основної ідеї методу Ван дер Поля у поєднанні із періодичними Атеб-функціями [13-14] для побудови розв'язку цього рівняння. Для реалізації вказаного перш за все знайдено розв'язок його "незбуреного" аналогу, тобто рівняння:

$$\frac{d^2\Theta}{dt^2} + \Omega^2 \left(\frac{d\Theta}{dt} \right)^{v_1} (\Theta)^{v_2+1} = 0. \quad (3)$$

Це рівняння буде описувати коливальний процес підресореної частини, якщо параметри v_1, v_2 , приймають значення: $v_1 = \frac{2(r_1 - s_1)}{2s_1 + 1}, v_2 + 1 = \frac{2r_2 + 1}{2s_2 + 1}, r_1, r_2, s_1, s_2 = 0, 1, 2, \dots$. Зокрема, при $v_1 = 0, v_2 = 0$ рівняння (3) описує власні лінійні поздовжньо-кутові коливання підресореної частини БКМ, а випадок же $v_1 = 0, v_2 > 0$ відповідає нелінійним коливанням із прогресивним законом зміни відновлювальної сили амортизаторів, а $v_1 = 0, v_2 < 0$ - регресивному закону її зміни. У загальному випадку поздовжньо-кутові коливання підресореної маси описуються у замкнутому вигляді за допомогою періодичних Атеб - функцій у вигляді:

$$\Theta(t) = \varepsilon \left\{ \begin{array}{l} ca \left(v_2 + 1, \frac{1}{1 - v_1}, \omega(\varepsilon)t + \Theta_0 \right), \\ sa \left(\frac{1}{1 - v_1}, v_2 + 1, \omega(\varepsilon)t + \Theta_0 \right) \end{array} \right\} \quad (4)$$

де ε і Θ_0 для незбуреного руху є сталими і визначаються із початкових умов, $\omega(\varepsilon)$ - частота власних коливань, яка описується залежністю

$$\omega(\varepsilon) = \frac{v_2 + 2}{2} \left(\Omega^2 \frac{2 - v_1}{(1 - v_1)(v_2 + 2)} \right)^{\frac{1}{2 - v_1}} \varepsilon^{\frac{v_1 + v_2}{2 - v_1}} \quad (5)$$

Якщо в наведеному вище виразі перейти, до базової узагальненої координати $\varphi(t)$, прийнявши до уваги, що її максимальне значення рівне φ_0 , отримаємо:

$$\omega_n(\varphi_0) = \frac{v_2 + 2}{2} \left(\frac{12g(2 - v_1)}{(1 - v_1)(v_2 + 2)} \frac{(\beta_1 + \beta_2)}{(\alpha_1 + \alpha_2)A_{cm}^{v_2+1}(4a^2 + c^2)} \right)^{\frac{1}{2 - v_1}} (\varphi_0)^{\frac{v_1 + v_2}{2 - v_1}} \quad (6)$$

Таким чином, на відміну від системи підресорювання із лінійним законом відновлювальної сили пружних амортизаторів для адаптивної системи, що розглядається, власна частота поздовжньо-кутових коливань залежить не тільки від статичної деформації пружних амортизаторів, але й і амплітуди вказаних коливань. На рис. 2 представлено залежності зазначеної частоти $f = \omega/2\pi$ від амплітуди φ_0 . 2π - період використаних Атеб-функцій. Під час побудови залежностей прийнято такі значення: $a = 1,5; C=1; \alpha_1 = 50000; \alpha_2 = 50000; \beta_1=100000; \beta_2=100000$.

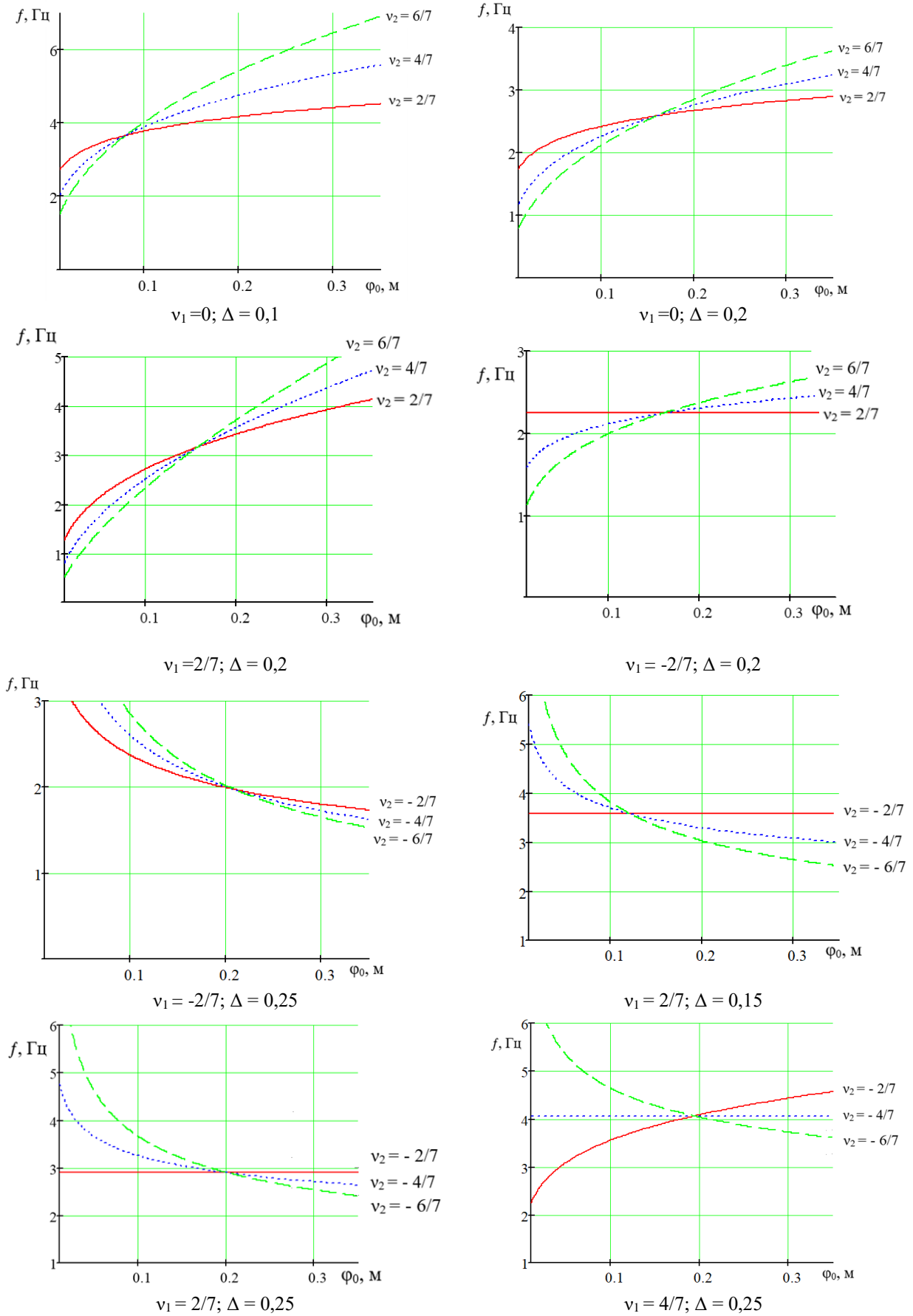


Рисунок 2 – Залежності частоти власних нелінійних коливань від амплітуди за різних силових значень параметрів керованої підвіски

Таким чином, отримані аналітичні співвідношення та побудовані графічні залежності показують, що:

- частота власних коливань для більших значень амплітуди приймає більше значення у випадках: $v_1 > 0, v_2 > 0$; $v_1 < 0, v_2 > 0$ і менше значення при $v_1 < 0, v_2 < 0$ та $v_1 > 0, v_2 < 0$ і $|v_2| > v_2$;

- у випадку $v_1 = -v_2$ коливальний процес підресореної частини є ізохронним;

- виходячи із частоти поздовжньо-кутових коливань ергономічним умовам експлуатації більшою мірою задовольняє система підресорювання із статичною деформацією, що змінюється в межах $0,15 < \Delta_{cm} < 0,25$ м та $-4/7 < v_1 < 2/7$ та $0 < v_2 < 4/7$.

Залежність (6) є одночасно базовою для визначення амплітуди початкового збурення поздовжньо – кутових коливань, які зумовлені наїздом БКМ на поодинокі нерівності шляху за умови, що початкова амплітуда коливань (до наїзду на нерівність) була рівна нулеві. Дійсно, якщо вважати, що за рахунок наїзду на поодинокую нерівність шляху підресорена маса отримала початкову кутову швидкість $\bar{\omega}_n$, то амплітуда коливань підресореної маси зв'язана із вказаною величиною залежністю:

$$\frac{2\bar{\omega}_n \left((\alpha_1 + \alpha_2)(1 - v_1)(v_2 + 2) \Delta_{cm}^{v_2+1} (4a^2 + c^2) \right)^{\frac{1}{2-v_1}} (\varphi_0)^{\frac{v_1+v_2}{v_1-2}} - \varphi_0 = 0. \quad (7)$$

$$\frac{1}{(v_2 + 2)(12g(2 - v_1)(\beta_1 + \beta_2))^{\frac{1}{2-v_1}}}$$

Із алгебраїчного співвідношення (7) знаходимо

$$\varphi_0 = \left(\frac{v_2 + 2}{2\bar{\omega}_n} \right)^{\frac{v_1-2}{v_2+2}} \frac{\left((\alpha_1 + \alpha_2)(1 - v_1)(v_2 + 2) \Delta_{cm}^{v_2+1} (4a^2 + c^2) \right)^{\frac{1}{2+v_2}}}{(12g(2 - v_1)(\beta_1 + \beta_2))^{\frac{1}{2+v_2}}}. \quad (8)$$

На рис. 3 та рис. 4 представлено залежності амплітуди початкового збурення від початкової кутової швидкості збурення коливань $\bar{\omega}_n$ та статичної деформації відповідно.

Представлені графічні залежності показують, що амплітуда початкового збурення коливань є більшою для систем підресорювання із більшим значенням статичної деформації, причому із ростом значень параметрів v_1 та v_2 її величина зменшується. Для малого початкового збурення вона для прогресивної силової характеристики $v_2 \geq 0$ за величиною є більшою для більших значень вказаного параметру, для значних за величиною початкових збурень коливань навпаки – для більших значень параметру $v_2 \geq 0$ вона приймає менші значення.

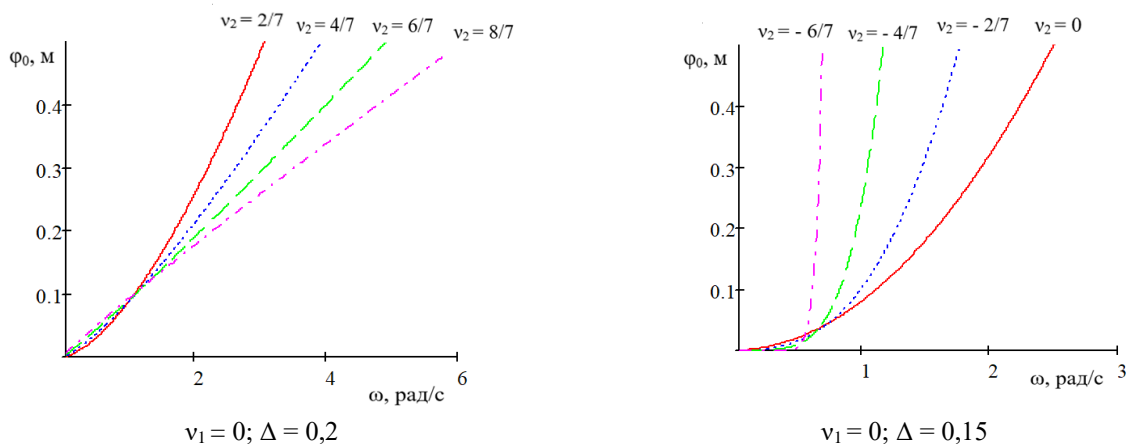


Рисунок 3 – Залежність початкової амплітуди поздовжньо-кутових коливань від кутової швидкості початкового збурення

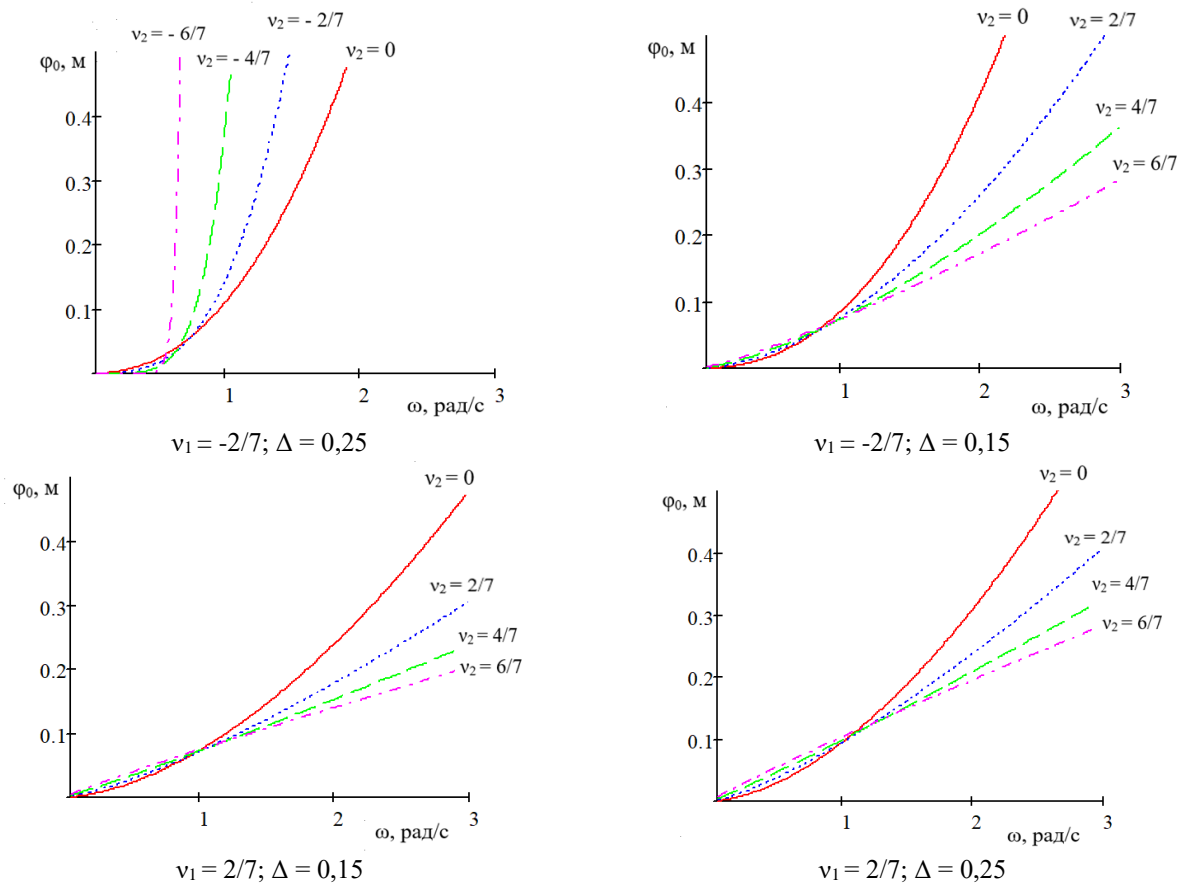


Рисунок 3 – Залежність початкової амплітуди поздовжньо-кутових коливань від кутової швидкості початкового збурення (продовження)

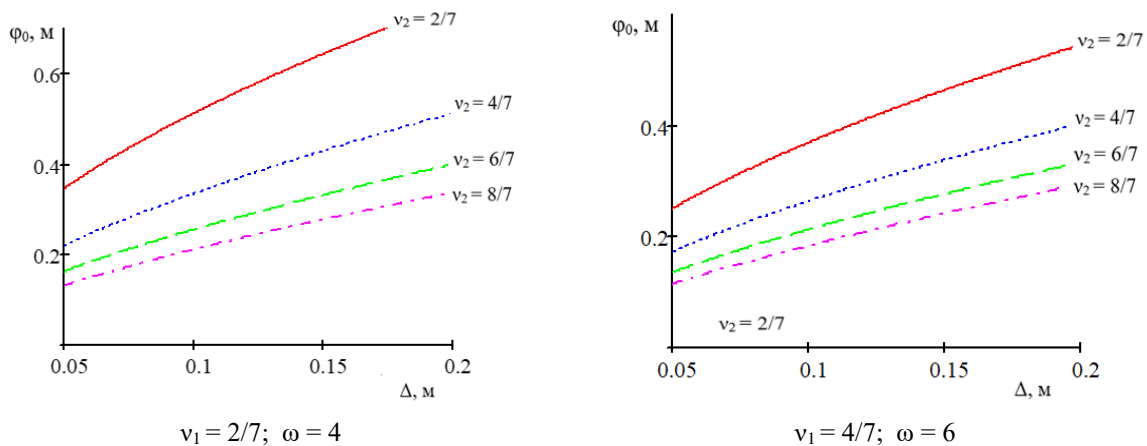


Рисунок 4 – Залежність амплітуди початкового збурення коливань від статичної деформації ПЧ за різних величин початкової швидкості та силових параметрів керованої підвіски

Одночасно вказані вище залежності служать для створення програмного продукту керованої системи підресорювання.

Висновки. У статті наведено результати теоретичного дослідження керованої системи підресорювання БКМ на основні параметри поздовжньо-кутових коливань підресореної частини. Побудовано відповідну математичну модель. На її основі отримано аналітичні залежності для оцінки впливу на амплітудно-частотну характеристику коливань параметрів, які описують основні параметри керованої підвіски. За результатами аналізу отриманих

аналітичних та побудованих графічних залежностей встановлено, що для БКМ із керованою силовою характеристикою системи підресорювання:

1. Амплітуда початкового збурення коливань є більшою для систем підресорювання із більшим значенням статичної деформації, причому із ростом значень параметрів v_1 та v_2 її величина зменшується. Для малого початкового збурення вона для прогресивної силової характеристики $v_2 \geq 0$ за величиною є більшою для більших значень вказаного параметру, а для значних за величиною початкових збурень коливань навпаки – для більших значень параметру $v_2 \geq 0$ вона приймає менші значення.

2. Частота власних коливань для більших значень амплітуди приймає більше значення у випадках: $v_1 > 0, v_2 > 0$; $v_1 > 0, v_2 < 0$ при $|v_1| > |v_2|$; $v_1 < 0, v_2 > 0$.

3. Для випадку $v_1 = -v_2$ коливальний процес підресореної частини є ізохронним.

4. Ергономічним умовам експлуатації по частоті поздовжньо-кутових коливань більшою мірою задовольняє система підресорювання із статичною деформацією, що змінюється в межах $0,15 < \Delta_{cm} < 0,25$ м та $-4/7 < v_1 < 2/7$ та $0 < v_2 < 4/7$.

В подальшому отримані аналітичні залежності будуть використані для створення програмного продукту, необхідного для розроблення керованої системи підресорювання.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Купріненко О. Бойові броньовані машини. Концептуальні основи проектування: монографія. Львів : НАСВ, 2017. 198 с.

2. Теория, конструкция и расчет боевых колесных машин / под ред. В.И. Медведкова. М. : Академия бронетанковых войск, 1976. 405 с.

3. Манзьяк М.О., Крайник Л.В., Грубель М.Г. Тенденції розвитку конструкцій підвісок військових автомобілів. Системи озброєння і військова техніка. 2021. №1(65). С. 27-35. <https://doi.org/10.30748/soivt.2021.65.04>.

4. Василенко О.В., Дущенко В.В. Перспективи розвитку систем підресорювання військових гусеничних і колісних машин. Механіка та машинобудування. 2009. № 1. С. 163-174.

5. Taghavifar H., Mardani H. Off-road Vehicle Dynamics. New York: Springer-Verlag, 2017. 183 p.

6. Wishbone V., Jagirdar, V., Dadar M., Sulakhe V. Structure for Front Independent Suspension of a Military Truck. Defence Science Journal. 2010. № 2(60). Pp. 178-183. <https://doi.org/10.14429/dsj.60.337>.

7. Дущенко В.В. Схеми підресорювання військових гусеничних і колісних машин: розрахунок і синтез. Харків: НТУ «ХПІ», 2018. 336 с.

8. Yechen Qin, Feng Zhao, Zhenfeng Wang, Liang Gu, Mingming Dong Analysis for Influence of Control lable Damper Time Delayon Semi-Active Suspension Control Strategies. Journal of Vibration and Acoustics. 2017. № 139(3). Pp. 12.

9. Дущенко В.В. Недостатки, причины их возникновения и противоречия развития известных физических принципов действия упругих элементов систем подресоривания военных гусеничных и колесных машин. Вестник НТУ «ХПИ». 2007. № 33. С. 46-52.

10. Нанівський Р.А. Вплив на занесення коливань підресореної частини БКМ під час його руху вздовж криволінійної ділянки шляху. Науковий вісник НЛТУ України. Львів: РВВ НЛТУ України, 2014. Вип. 24.3. С. 366-372.

11. Hrubel M., Nanivskyi R., Sokil M. Influence of characteristics of wheeled vehicle suspensions of its road-holding along curved stretches of track. Science & military. 2014. Vol. 9, № 1, Pp.15-19.

12. Dynamic Effect of Cushion Part of Wheeled Vehicles on Their Steerability/ B. Sokil, O. Lyashuk, M. Sokil, P.Popovich, Y.Vovk and O.Perenchuk. International Jornal of Automotive and Mechanical Engineering, Volume 15, Issue 1. Pp. 4880-4892.

13. Сенік П.М. Обернення неповної Beta-функції. Український математичний журнал, 1969. № 3. С. 325-333.

14. Сенік П. М., Сокіл Б. І. Про застосування u-методики для одного класу коливних систем. Доповіді АН УРСР. 1977. №1. С. 12-16.

REFERENCES:

1. Kuprinenko, O. (2017), "Bojovi bronovani mashini. Konceptualni osnovi proektuvannya" [Combat armored vehicles. Conceptual foundations of the project], NASV, Lviv, 198 p.
2. Medvedkov, V. (1976), "Teoriya, konstrukciya i raschet boevykh kolesnykh mashin" [Theory, design and calculation of combat wheeled vehicles], Academy of Armored Forces, Moscow, 405 p.
3. Manzyak, M., Krainik, L., Grubel, M. (2021), "Tendenciyi rozvitku konstrukcij pidvisok vijskovich avtomobiliv" [Trends in the development of the suspension design of military vehicles], Systems of Arms and Military Equipment. №1(65). pp. 27-35. <https://doi.org/10.30748/soivt.2021.65.04>.
4. Vasilenko, O., Dushchenko, V. (2009), "Perspektivi rozvitku sistem pidresoryuvannya vijskovich gusenichnih i kolisnih mashin" [Prospects for the development of supply systems for military tracked and wheeled vehicles], Mechanics and machine building. № 1. Pp. 163-174.
5. Taghavifar, H., Mardani, H. (2017), Off-road Vehicle Dynamics. Springer-Verlag, NewYork: 183 p.
6. Wishbone, V., Jagirdar, V., Dadar, M., Sulakhe, V. (2010), Structure for Front Independent Suspension of a Military Truck. Defence Science Journal. № 2(60). Pp. 178-183. <https://doi.org/10.14429/dsj.60.337>.
7. Dushchenko, V. (2018), "Shemi pidresoryuvannya vijskovich gusenichnih i kolisnih mashin: rozrahunok i sintez" [Schemes for the supply of military caterpillar and wheeled vehicles: development and synthesis], NTU "KhPI", Kharkiv, 336 p.
8. Yechen Qin, Feng Zhao, Zhenfeng Wang, Liang Gu, Mingming Dong Analysis for Influence of Control lable Damper Time Delayon Semi-Active Suspension Control Strategies. Journal of Vibration and Acoustics. 2017. № 139(3). Pp. 12.
9. Dushchenko, V. (2007), "Nedostatki, prichiny ih vozniknoveniya i protivorechiya razvitiya izvestnykh fizicheskikh principov dejstviya uprugih elementov sistem podressorivaniya voennykh gusenichnykh i kolesnykh mashin" [Disadvantages, causes of their occurrence and contradictions in the development of known physical principles of action of elastic elements of suspension systems for military tracked and wheeled vehicles], Bulletin of NTU "KhPI", № 33. Pp. 46-52.
10. Nanivskiy, R. (2014), "Vpliv na zanesennya kolivan pidresorenoyi chastini BKM pid chas jogo ruhu vzdovzh krivoliniynoyi dilyanki shlyahu" [Influence on the skid of vibrations of the sprung part of a combat wheeled vehicle during its movement along a curved section of the road] Scientific Bulletin of NLTU of Ukraine. Lviv, №24.3. Pp. 366-372.
11. Hrubel, M., Nanivskiy, R., Sokil, M. (2014), Influence of characteristics of wheeled vehicle suspensions of its road-holding along curved stretches of track. Science & military. Vol. 9, № 1, Pp.15-19.
12. Dynamic Effect of Cushion Part of Wheeled Vehicles on Their Steerability/ B. Sokil, O. Lyashuk, M. Sokil, P. Popovich, Y. Vovk and O. Perenchuk. International Journal of Automotive and Mechanical Engineering. Volume 15, Issue 1. Pp. 4880-4892.
13. Senik, P. (1969), "Obernennya nepovnoyi Veta-funkciyi" [The wrapping of the non-standard Beta function], Ukrainian Mathematical Journal. № 3. Pp. 325-333.
14. Senik, P., Sokil, B. (1977), "Pro zastosuvannya u-metodiki dlya odnogo klasu kolivnih sistem" [On the use of the u-method for one class of shower systems] Dopovidi Academy of Sciences URSR. №1. Pp. 12-16.

**Doctor of Technical Science, Professor Sokil B.I.,
Doctor of Technical Science Kuprinenko O.M., PhD Sokil M.B.
PECULIARITIES OF APPLICATION OF SEISMOACOUSTIC LOCATION FOR
DETERMINATION OF MOVING OBJECTS**

The paper presents the results of theoretical studies of the influence of the main power parameters of the controlled suspension system on the longitudinal-angular oscillations of combat wheeled vehicles. An analysis was made of the nature of the conduct of modern armed struggle and the changed conditions for the use of combat wheeled vehicles. The relevance of increasing their mobility by improving the smoothness of the ride through the use of a controlled suspension system is substantiated. The analysis of well-known scientific and methodological approaches to describing the dynamics of wheeled vehicles is carried out. According to the results of the analysis, their imperfection was established. They are based on linear dependencies and do not allow taking into account the influence of the main power parameters of the controlled suspension system on the transverse-angular vibrations of wheeled vehicles.

A physical model of a combat wheeled vehicle and analytical dependencies for assessing the influence of the parameters of a controlled suspension system on the longitudinal-angular oscillations of combat wheeled vehicles are proposed. Unlike the known ones, the obtained dependences are non-linear and allow taking into account the influence of longitudinal-angular oscillations of combat wheeled vehicles. Based on the results of the analysis of the obtained analytical deposits, it was found that, in contrast to suspension systems with a linear law of the restoring force of elastic shock absorbers, for an adaptive suspension system, the natural frequency of longitudinal-angular oscillations depends not only on the static deformation of elastic shock absorbers, but also on the oscillation amplitude. It was also found that for combat wheeled vehicles with a controlled power characteristic of the suspension system, the amplitude of the initial perturbation of vibrations is greater for suspension systems with a large value of static deformation. A mathematical relation has been obtained to determine the amplitude of the initial disturbance of the longitudinal-angular oscillations caused by the collision of a combat wheeled vehicle on the unevenness of the supporting surface.

The obtained analytical dependencies can later be used to create a software product necessary for the development of a controlled suspension system.

Key words: combat wheeled vehicles, controlled suspension system, longitudinal-angular oscillations, analytical dependencies.

ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНИХ СТРАТЕГІЙ ЛІКУВАННЯ ВІРУСНИХ ЗАХВОРЮВАНЬ

Останнім часом збільшилось значення інформаційного забезпечення медичних технологій. Широко використовуються сучасні інформаційні технології, розробка та застосування інформаційних технологій є однією з актуальних задач. Більшість персональних комп'ютерів використовуються лише для обробки текстової документації, зберігання та обробки баз даних, ведення статистики, фінансової звітності. Стаття присвячена проблемам вибору оптимальних стратегій лікування вірусних захворювань, що на сьогодні є досить гострим та актуальним питанням. Метою даного дослідження є створення інформаційної системи на основі архітектури клінічно-діагностичної системи підтримки прийняття рішень (СППР), що використовує базу знань, для допомоги лікарю в його особистому процесі прийняття рішень. Розроблений програмний продукт буде складатися з декількох модулів з характерними функціями: категоризації параметрів та показників за вихідними даними пацієнтів та поділ вибірки відповідного категорій параметрів, вибір аналізу й відображення результатів. Дана система опрацьовує дані та відображає результати у вигляді графіків, що показують динаміку зміни температури пацієнтів із прогнозом.

Система надаватиме інформацію для користувача, а не точну «відповідь», що і було метою їх розробки. Користувач повинен аналізувати цю інформацію і відмовлятися від помилкової або непотрібної інформації. Він повинен бути активним і взаємодіяти з системою, а не просто пасивним отримувачем інформації. Взаємодія користувача з системою відіграє важливу роль у виборі способу використання СППР. Моделювання показників здоров'я базується на основі математичного апарату ланцюгів Маркова. Ця методика дозволяє за початковими даними обчислювати набори безумовних імовірностей та здійснювати імовірнісний прогноз стану здоров'я окремої людини або груп населення на майбутні періоди життя.

Ключові слова: вірусне захворювання, система підтримки прийняття рішень, стратегія лікування, ланцюги Маркова.

Вступ. Сучасна медицина все частіше застосовує діагностичні методи, які дозволяють отримати оцінку стану організму на початкових та ранніх стадіях захворювання. Вчасно виявлені зміни в організмі людини здатні запобігти виникненню тяжких наслідків хвороби. Особливо актуально це питання виникає в сучасному просторі, коли захворюваність виходить на рівень пандемії. Коронавірусна інфекція Covid-19 має великий вплив на всі сфери життя людей по всьому світу. Це підтверджується широким спектром різних медичним, соціальних та економічних впливів, що напряду чи опосередковано викликані розповсюдженням вірусу.

Останнім часом збільшилась роль комп'ютеризації в технологіях медицини. Широко використовуються сучасні інформаційні технології, розробка та застосування інформаційних технологій є важливим завданням [1-3]. Більшість персональних комп'ютерів використовуються переважно для обробки документів у вигляді тексту, роботою з базою даних та їх зберігання, статистична та фінансова звітність.

Більшість лікувально-діагностичних технологій майже не використовують можливості сучасних комп'ютерів. До них варто віднести діагностику, ведення протоколу лікування, ймовірність протікання хвороби тим чи іншим чином та анамнез.

Технологічні можливості сучасності в змозі досягти нового якісного рівня представлення протікання хвороби, тобто використання ефективних математичних моделей

дозволяє просторово змодельовати розвиток протікання захворювання при конкретному випадку. Медичні інформаційні технології сучасності іноді перевищують можливості людського розуму. Для лікаря експертні системи в медицині – це не лише спосіб перевірки особистих діагностичних припущень, але й можливість комп'ютерної консультації при неординарних діагностичних випадках [4-6].

Сьогодні існують різні системи, які потенційно можуть підтримувати прийняття клінічних та діагностичних рішень. Система підтримки прийняття рішень (СППР) є частиною медичних інформаційних систем, але вони передбачають ретроспективний аналіз фінансових та адміністративних даних. Хоча такі ретроспективні підходи можуть бути використані для розробки керівних настанов або алгоритмів прийняття рішень, які зазвичай не вважаються клініко-діагностичними СППР.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання застосування інформаційних технологій в медицині є досить актуальним. Цій тематиці було присвячено ряд робіт сучасних зарубіжних та вітчизняних вчених. Серед них зокрема варто виділити роботи Воробйова К.П., Жарко В.І., Цибіна А.К., Малахової І.В., Соловійова С.О., Дзюблик І.В., які присвячені питанням інформатизації медичної галузі.

G. Santori et al. [7] в трансплантології використовують технології нейромережі для прогнозування вмісту креатиніну в крові дитячого організму після ниркової трансплантації. Для того, щоб провести кореляційний аналіз вхідних та результуючих показників у пацієнтів, була побудована штучна нейромережа на основі 107 прикладах клінічних досліджень. Як результат, точності нейронної мережі початкової, каліброваної та результуючих вибірок збільшилась у відсотковому відношенні.

A.T. Tzallas et al. [8] використали нейромережу для ймовірності повторюваності приступів епілепсії, що гуртувались на аналізі електроенцефалограми. Спостерігалась висока прогнозна точність методу.

Sathish P., Elango N. M. [9] в медичній радіології використовували нейромережу для класифікаційних МРТ зображень для автоматизації пошуку прояву склерозу. Інтелектуальна нейрона мережа ИНС ґрунтувалась на 144 зображеннях і дозволяла проводити класифікацію тканин головного мозку на наявність відповідних змін.

Одна з перших діагностичних експертних систем MYCIN призначена для роботи в галузі діагностики і лікування зараження крові і медичних інфекцій. На підставі симптомів система видає декілька діагнозів із зазначенням відповідних коефіцієнтів визначеності і пропонує курс лікування виявленої інфекції. База знань MYCIN містить близько 500 правил, розроблених за допомогою групи з інфекційних захворювань Стенфордського університету.

На основі обчислених коефіцієнтів визначеності для кожного діагнозу користувачеві пред'являється список можливих результатів [10].

Існуючі системи мають обмежені можливості аналізу, оскільки база знань у них застосовується лише для ретроспективного аналізу. Якщо прогнозувати процес лікування при заданих параметрах пацієнта та препаратів, то доцільно використовувати для цього дані з бази знань СППР, оскільки такі бази зазвичай містять достатній об'єм інформації для аналізу.

Дана система має можливість ширшого застосування, ніж аналоги, так як здатна роботи прогноз за заданими параметрами та виконувати додатковий аналіз. У можливості системи також входить розрахунок похибок аналізу і здатність швидко оброблювати великі обсяги даних.

Методологічною базою розробленої інформаційної системи є метод фармакоеконічного аналізу, який враховує так звану вартість захворювання – витрати на лікування вірусних захворювань: прямі та непрямі витрати на лікування, побічні витрати, що пов'язані з лікуванням пацієнтів, нематеріальні витрати [11]. Інформація про вартість медичних діагностичних і терапевтичних процедур може бути взята із відкритих джерел провідних лікувально-профілактичних закладів. Разом із тим, на вартість має впливати початковий стан пацієнта та наявність супутніх захворювань, що може мати суттєвий вплив на перебіг захворювання [11–13].

Метою даного дослідження є створення інформаційної системи, основою якої є архітектура клінічно-діагностичної СППР, що використовує базу знань, для допомоги лікарю в його особистому процесі прийняття рішень.

Основна частина. Розроблений програмний продукт складається з декількох модулів з характерними функціями:

- категорювання параметрів та показників за вихідними даними пацієнтів та поділ вибірки відповідного категорій параметрів;

- вибір аналізу:

- аналіз динаміки одужання (проведення аналізу динаміки одужання для кожної вибірки, визначення значущості параметрів);
- аналіз частоти показника клінічного стану (визначення частоти показника в кожній вибірці, визначення похибки);
- аналіз динаміки показника клінічного стану (визначення порядку зміни показників, горизонту моделювання та часових інтервалів, визначення матриць переходів, прогнозування показника клінічного стану);

- відображення результатів.

Після відкриття файлу з базою знань користувач має обробити дані. Він виділяє у ньому сегменти даних пацієнта, даних керування, динаміки та часу. Даний вибір не є обов'язковим, оскільки користувач може відкривати файл для вирішення як окремої задачі, так і всього комплексу. Реалізований інтерфейс дозволяє користувачу працювати із таблицею та передавати відформатовані дані до відповідного модулю логіки. Далі потрібно проаналізувати всі стовпці, виділені користувачем, і зберегти всі варіанти для кожного з параметрів, після чого утворюємо всі можливі комбінації заголовків підвибірок. Для безпосереднього утворення заголовків була розроблена рекурсивна функція, що повертає список всіх можливих заголовків на основі переданого їй списку варіантів параметрів. На наступному етапі програма досліджує всі рядки бази знань та знаходить відповідний заголовок у списку. Індекс заголовка є одночасно і індексом відповідної підвибірки, тому за цим індексом дані з рядку додаються до даних підвибірки. Внаслідок проходження по всіх рядках дані бази знань розділяються на підвибірки.

Оптимальна стратегія лікування. Для правильного лікування хвороби в пацієнта потрібно обрати оптимальну схему терапії, яка буде спрямована проти механізмів розвитку, етіологічного чинника або симптомів захворювання для пацієнта з певним вірусним захворюванням. Такий вибір залежить від витрат на лікування C_n для здорового пацієнта та C_v для хворого пацієнта відповідно до наявності у нього вірусного захворювання. Також використовується апріорна ймовірність вірусного захворювання або критичний рівень поширеності вірусного захворювання, які допомагають обрати оптимальну схему терапії.

Розглянемо дві схеми терапії (рис. 1) [11]:

- основна – очікувані витрати розраховуються за формулою:

$$EC^A(p) = pC_v^A + (1-p)C_n^A, \quad (1)$$

- альтернативна – очікувані витрати розраховуються за формулою:

$$EC^B(p) = pC_v^B + (1-p)C_n^B. \quad (2)$$

Формули (1) і (2) розраховуються як сума витрат для випадків, коли присутнє чи відсутнє захворювання, а також враховується ймовірність його виникнення.

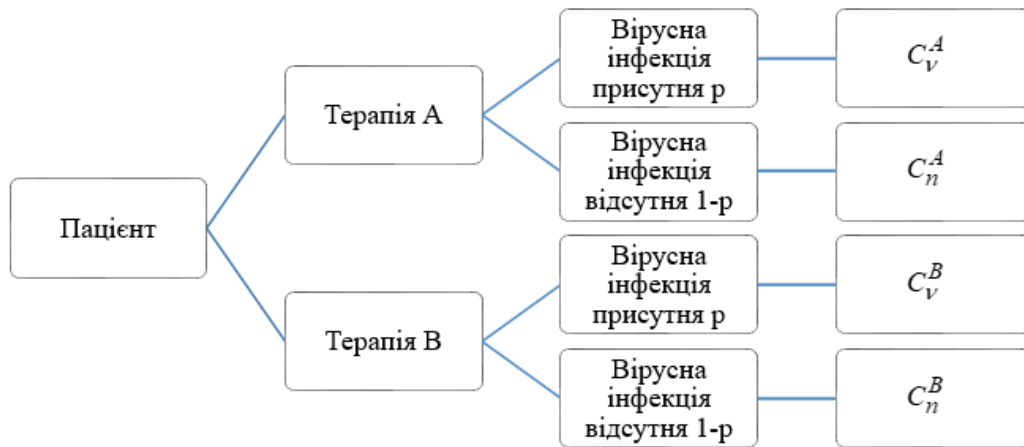


Рисунок 1 – Дерево прийняття рішень при обранні оптимальної стратегії лікування

Очікувані витрати також залежать від показника p поширеності (рис. 2): пряма $EC^A(p)$ характеризує очікувані витрати при виборі основної схеми терапії, а $EC^B(p)$ – при альтернативній схемі. В результаті, обирається схема, яка дає мінімальні значення очікування витрат [11].

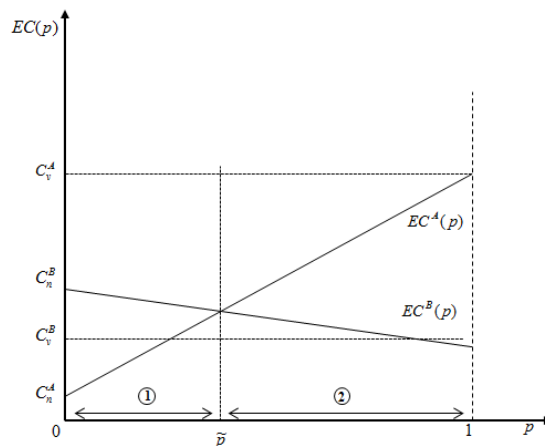


Рисунок 2 – Критичний рівень поширеності вірусного захворювання як критерій прийняття рішень: 1) домінування схеми А; 2) домінування схеми В

Якщо в пацієнта вірусна інфекція відсутня, тобто $p=0$, то оптимальною буде симптоматична терапія, для якої витрати на лікування будуть дорівнювати витратам на здорового пацієнта – $EC(p=0) = C_n^B$. Якщо ж в пацієнта вірусна інфекція присутня, тобто $p=1$, то альтернативна схема терапії буде завжди актуальною, і витрати на лікування будуть дорівнювати витратам на хворого пацієнта, який отримав етіотропну терапію – $EC(p=1) = C_v^B$. Показник p називається критичним рівнем поширеності та є проміжним значенням для обох схем, за якого вони дають однаковий результат.

Обчислимо різницю між очікуваними витратами при виборі обох схем:

$$EC^A(p) - EC^B(p) = p[C_v^A - C_v^B] + (1-p)[C_n^A - C_n^B]. \quad (3)$$

4 Позначимо як G зміну витрат на хворого пацієнта із вірусним захворюванням при виборі певної терапії і як L – зміну витрат на пацієнта без вірусної інфекції:

$$G \equiv C_v^A - C_v^B, \quad (4)$$

$$L \equiv C_n^A - C_n^B. \quad (5)$$

Підставимо вирази (4) і (5) у формулу (3) і отримаємо відношення вигравів та витрат від прийняття рішення про вибір схеми терапії:

$$EC^B(p) - EC^A(p) = pG + (1-p)L. \quad (6)$$

У випадку обрання лікарем альтернативної схеми терапії у виграві буде той пацієнт, який захворів вірусною інфекцією, на відміну від пацієнта, у якого ця хвороба не була виявлена, але на діагностування були затрачені великі кошти. Якщо лікар не включає до схеми лікування етіотропний препарат, то пацієнт без вірусної інфекції буде у виграшному становищі.

Показник критичного рівня поширеності у випадку вибору терапевтичної схеми призводить до однакових очікуваних витрат, тому з формули (6) отримуємо рівняння:

$$pG = -(1-p)L. \quad (7)$$

Розв'язком рівняння (7) є показник p :

$$p = \frac{-L}{G-L} = \frac{1}{1-\frac{G}{L}}. \quad (8)$$

Якщо $0 \leq p \leq 1$, то

$$0 \leq \frac{1}{1-\frac{G}{L}} \leq 1. \quad (9)$$

Критичний рівень поширеності існує за умови, що $G \geq 0$ та $L < 0$, інакше при будь-якому рівні поширеності інфекції домінує одна схема терапії.

Якщо значення рівня поширеності нижчі критичного, то очікувані витрати від вибору схеми лікування є меншими, ніж при виборі альтернативної, в діапазоні $0 \leq p < p$. Якщо ж збільшується апіорна ймовірність вірусної інфекції, то очікувані витрати при виборі альтернативної схеми зменшуються, а при виборі основної схеми – зменшуються. Для значень рівня поширеності вище за критичного, очікувані витрати при альтернативній схемі є меншими, ніж при основній схемі, яка є домінуючою в межах $p \leq p \leq 1$.

Оскільки лікар приймає рішення про схему лікування за умов діагностичної невизначеності, тобто при невизначеному стані здоров'я пацієнта, то неправильний вибір схеми терапії може призвести до надлишкового лікування пацієнта, якщо він не хворий, або недостатнього лікування, якщо пацієнт має вірусну інфекцію. Тому діагностичний тест є недосконалим у більшості випадків. Він лише може точно відділити пацієнтів із вірусною інфекцією від інших, що мають схожі симптоми.

Чутливість Se та специфічність Sp таких тестів є завжди меншими за одиницю та визначається в залежності від результату тесту і відповідного вибору схеми терапії. Із ймовірністю Se тест правильно визначає пацієнтів з вірусною інфекцією – дійснопозитивний результат діагностики; із ймовірністю Sp правильно визначає пацієнтів без вірусної інфекції – дійснонегативний результат діагностики (табл. 1).

Таблиця 1

Визначення діагностичного стану пацієнта та пов'язані з ним витрати

Результат діагностики	Витрати
Дійснопозитивний результат	$C_v^B + C_t$
Хибнопозитивний результат	$C_n^B + C_t$
Дійснонегативний результат	$C_n^A + C_t$
Хибнонегативний результат	$C_v^A + C_t$

Дерево альтернатив (рис.1) може бути розширене за рахунок включення варіанту попередньої діагностики (рис.3).

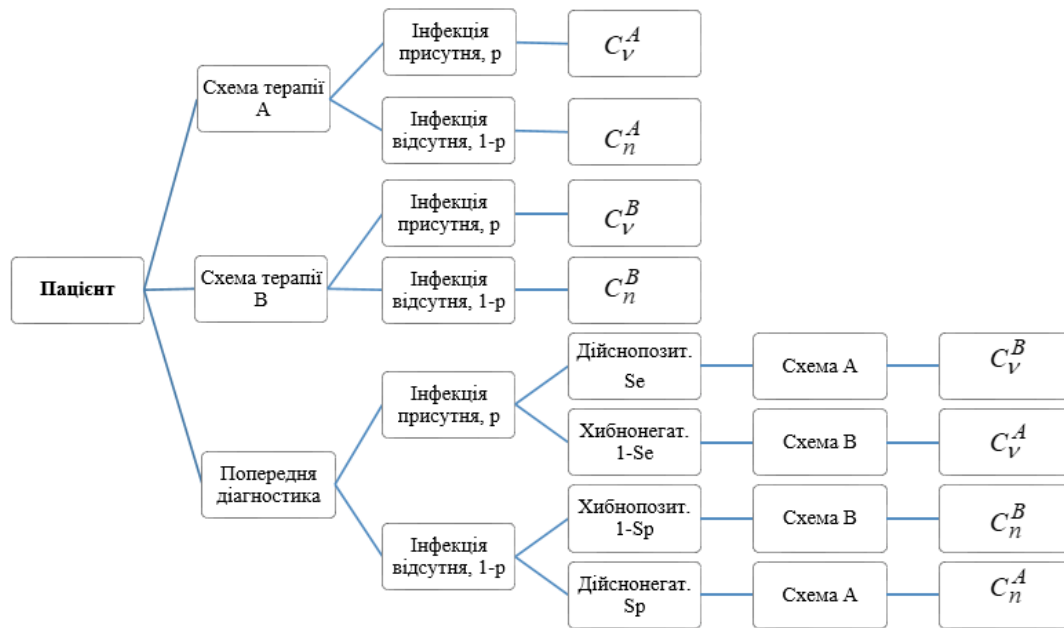


Рисунок 3 – Дерево рішень зі стратегією попередньої діагностики з використанням недосконалого тесту

Якщо підвищується точність діагностичного тесту через збільшення чутливості або специфічності, то тоді збільшується і діапазон поширеності, при якому попередня діагностика є раціональною. При критичному значенні поширеності p очікувані витрати різних стратегій попередньої діагностики є мінімальними. При дуже низьких та дуже високих рівнях поширеності інформаційна значущість є від’ємною, а тому попередня діагностика є недоцільною у таких випадках. Таким чином, незважаючи на поширену думку, діагностика не завжди призводить до оптимального результату.

Прогнозування параметрів динаміки. Для прогнозування параметрів динаміки одужання пацієнта обрана модель, яка заснована на ланцюгах Маркова [17] з дискретним часом. Ланцюг Маркова — послідовність випадкових подій з кінцевим або розрахунковим числом результатів, що характеризується тим, що при фіксованому сьогоднішньому майбутнє не залежить від минулого.

Нехай I – деяка скінченна чи зліченна множина, елементи якої називаються станами. Нехай деякий процес в момент часу n (де $n = 0, 1, 2, 3, \dots$) може перебувати в одному із цих станів, а в час $n + 1$ може перейти в деякий інший стан або залишитися в тому ж самому. Кожен такий перехід називається кроком. Кожен крок не є точно визначеним. З певними ймовірностями процес може перейти в один з кількох станів або навіть в усі стани. Якщо ймовірності переходу залежать лише від часу n і стану, в якому перебуває процес в цей час, і не залежать від станів, в яких процес перебував у моменти $0, 1, 2, \dots, n - 1$, то такий процес називається дискретним ланцюгом Маркова. Ланцюг повністю задається визначеними ймовірностями перебування процесу в стані в час $n = 0$ і ймовірностями переходу зі стану в стан в час n .

У нашому випадку концепція моделі Маркова передбачає, що в розвитку будь-якого захворювання можна виділити окремі взаємовиключні стадії (марковські стани), які будуть в повній мірі відображати стан здоров'я хворих, і, знаючи ймовірності переходу між стадіями, можливо проаналізувати витрати і ефективність застосування різних технологій охорони здоров'я в заданому проміжку часу (горизонти дослідження).

Горизонт дослідження поділяється на окремі рівні періоди — марковські цикли. При настанні кожного нового циклу здійснюється перехід модельованої групи хворих між станами. Переміщення по ланцюгу марковських станів відбувається через ряд проміжних станів і завершується кінцевим (абсорбуючим) станом, в якому рано чи пізно залишиться вся модельована група хворих. Напрямок переходу визначається виходячи з особливостей конкретного захворювання. Модель дозволяє враховувати прогрес та регрес захворювання, розвиток ремісії і смерть.

Ймовірності переходу є ключовим елементом моделі, тому що визначають розподіл групи хворих по станах у кожен момент часу протягом заданого горизонту дослідження. Використовувані ймовірності переходу повинні відповідати ймовірності настання події в проміжок часу, рівний тривалості марковського циклу. Важливо відзначити, що у моделі немає «пам'яті»: ймовірності переходу між марковськими станами визначаються тільки виходячи з поточного стану хворого, тобто не враховується історія попередніх переміщень. Однак, самі ймовірності переходу між станами можуть бути динамічними і змінюватися від циклу до циклу, що ускладнює модель, але може бути важливо при моделюванні окремих випадків захворювання, тому що дозволяє враховувати зміну ймовірності події із часом. Знаходження в кожному із марковських станів (стадій захворювання) пов'язано з певними витратами, що дозволяє за рахунок обліку числа переходів і тривалості перебування розрахувати витрати як для модельованої групи хворих, так і для одного усередненого представника цієї групи.

Випробовування аналізу динаміки показника клінічного стану. Розроблена система була протестована різними базами знань.

Першою була протестована база знань, що містить дані про захворюваність на Covid-19 різних вікових груп. Утворено декілька вибірок на основі даних про вік та супутні захворювання пацієнтів. У результаті аналізу було виявлено, що найбільш схильна до появи супутніх захворювань є група пацієнтів віком від 18 до 30 років. База містить дані про динаміку температури лише протягом двох тижнів. Тому було проведено прогноз динаміки захворювання на 30 днів для цієї вікової групи (рис.4).

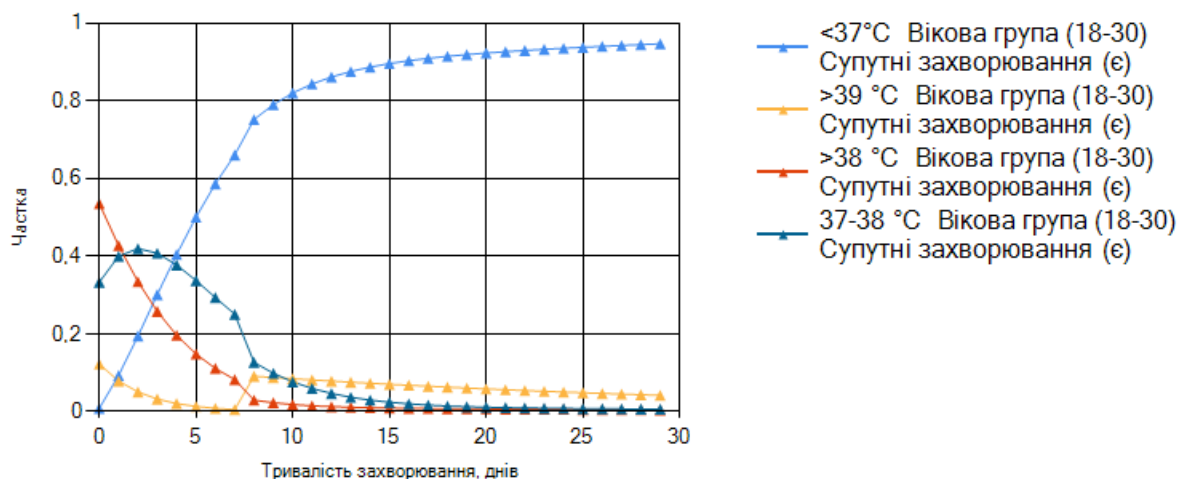


Рисунок 4 – Прогнозування параметрів динаміки на основі реальних даних

Другою була протестована база знань, отримана в результаті прогнозу на основі ланцюгів Маркова. Отримані результати показують, що критичним є сьомий-восьмий дні терапії. На рис. 5 видно різкі зміни у частках груп пацієнтів із високою (39° і вище) температурою.

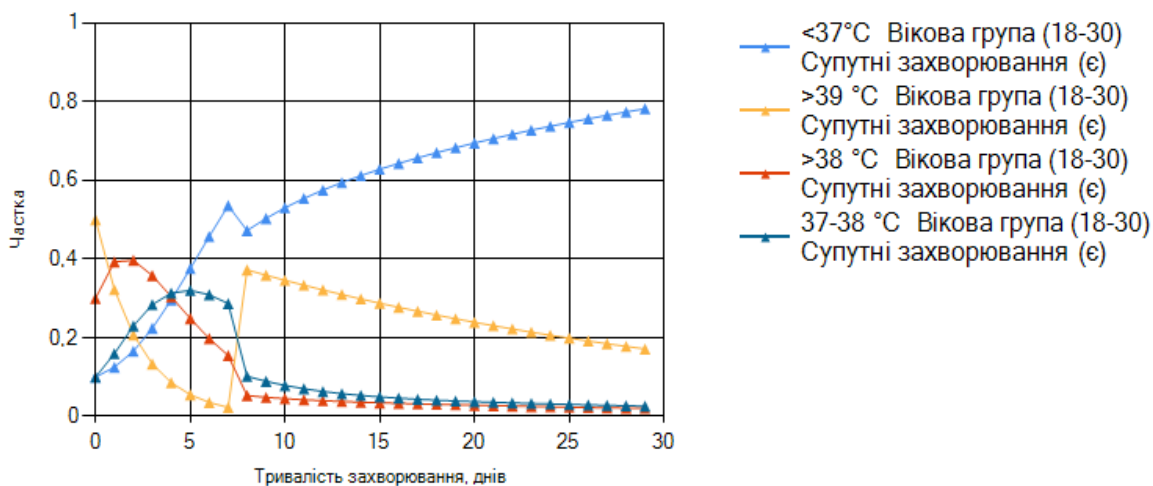


Рисунок 5 – Прогнозування параметрів динаміки на основі ланцюгів Маркова

Також користувач може самостійно ввести частки варіантів для різних показників температури, утворивши таким чином власну вибірку, для якої буде виконуватись прогноз та проводити аналіз різних ситуацій.

Отже, дана система опрацьовує дані та відображає результати у вигляді графіків, що показують динаміку зміни температури пацієнтів із прогнозом (в тому числі для груп пацієнтів, заданих користувачем). Система отримує дані у вигляді таблиці у форматі Microsoft Excel, оскільки така форма є зручною і наочною для оператора програми.

Висновки. Для реалізації системи було обрано принцип архітектури система підтримки прийняття рішень, яка заснована на знаннях. Результати роботи відображаються у вигляді графіків, а також можуть бути збережені в окремих Excel-файлах. Моделювання показників здоров'я базується на основі ланцюгів Маркова, які дозволять нам за початковими даними здійснювати ймовірнісне прогнозування стану здоров'я окремої людини або групи населення на майбутнє.

Система має ширше застосування, ніж існуючі аналоги, оскільки може обирати оптимальну схему терапії на основі СППР та робити прогнози тривалості захворювання пацієнтів на тривалий період часу. Зокрема, система має можливість проведення порівняння похибок виконаного аналізу та досить швидко оброблювати великі обсяги даних.

Система стане в нагоді лікарям у прийнятті правильного рішення при виборі оптимальної схеми лікування вірусних захворювань.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Жарко В.И., Цыбин А.К., Малахова И.В. и др. Вопросы организации и информатизации здравоохранения. 2006. Вып. 4. С. 3–7.
2. Krumholz H. M. Big data and new knowledge in medicine: the thinking, training, and tools needed for a learning health system. *Health Affairs*. 2014. Vol. 33, No. 7. Pp. 1163–1170.
3. Hueso M., Vellido A., Montero N., et al. Artificial intelligence for the artificial kidney: pointers to the future of a personalized hemodialysis therapy. *Kidney Diseases*. 2018. Vol. 4, No. 1. Pp.1–9.
4. Johnson K. W., Torres Soto J., Glicksberg B. S., et al. Artificial intelligence in cardiology. *Journal of the American College of Cardiology*. 2018. Vol.71, No. 23. Pp. 2668–2679.
5. Topol E. J. High-performance medicine: the convergence of human and artificial intelligence. *Nature Medicine*. 2019. Vol. 25, No. 1. Pp. 44–56.
6. Niel O., Bastard P. Artificial intelligence in nephrology: core concepts, clinical applications, and perspectives. *American Journal of Kidney Diseases*. 2019. Vol. 74, No.6. Pp. 803–810.
7. Santori G., Fontana I., Valente U. Application of an Artificial Neural Network Model to Predict Delayed Decrease of Serum Creatinine in Pediatric Patients After Kidney Transplantation. *Transplantation Proceedings*. 2007. Vol. 39, N 6. Pp. 1813–1819.

8. Tzallas A.T., Tsipouras M.G., Fotiadis D.I. et al. Automatic Seizure Detection Based on Time-Frequency Analysis and Artificial Neural Networks. *Computational Intelligence and Neuroscience*. 2007. Vol. 2007. Pp. 1–13.
9. Sathish P., Elango N. M. Exponential cuckoo search algorithm to Radial Basis Neural Network for automatic classification in MRI images. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering: Imaging & Visualization*. 2019, Vol. 7, No. 3. Pp. 273–285.
10. Любченко К.М. Експертні системи в практичній медицині. *Вісник НТУУ «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка*. 2009. Вип. 51. С.22.
11. Соловійов С.О., Дзюблик І.В., Заліська О.М., Сахно Г.О. Аналітичне обґрунтування включення противірусного препарату в схему лікування пацієнтів з підозрою на гостре вірусне захворювання. *Annals of Mechnikov Institute*, № 4, 2016. С. 18–26.
12. Dzyublik I.V., Yurchenko A.V., Stepchenkova T.V. Analysis of lethal causes of among HIV-infected patients of the Kiev City AIDS Center in 2013. *Preventive medicine*. 2014. № 3-4. Pp. 48–49.
13. Soloviov S.O., Dzyublik I.V. Some approaches to the modeling of recurrent cases of rotavirus infection among children in Ukraine. *Proceedings of Shupryk NMAPE staff*. 2013. № 22(4). Pp. 506–515.
14. Перова И.Г. Адаптивная обработка данных медико-биологических исследований методами вычислительного интеллекта. *Восточно-европейский журнал передовых технологий*. 2014. Вып. 67. С. 24–28.
15. Марценюк В. П., Стаханська О. О. Про клінічну систему, що ґрунтується на правилах, на основі технології DataMining. *Медична інформатика та інженерія*. 2014. № 1. С. 24–27.
16. Семенець А. В., Марценюк В. П. Розробка платформи системи підтримки прийняття рішення для медичної інформаційної системи з відкритим кодом OPENEMR. *Медична інформатика та інженерія*. 2015. № 3. С. 22–40.
17. Вагіс О.А. Дослідження показників здоров'я на основі ланцюгів Маркова. *Комп'ютерна математика*. 2017. № 2. С. 78–84.

REFERENCES:

1. Zharko V.I., Tsybin A.K., Malakhova I.V. i dr. (2006) "Voprosy organizatsii i informatizatsii zdavookhraneniya" [Issues of organization and informatization of health care]. Vol. 4. Pp. 3–7.
2. Krumholz H. M. (2014) "Big data and new knowledge in medicine: the thinking, training, and tools needed for a learning health system" *Health Affairs*. Vol. 33, No. 7. Pp. 1163–1170.
3. Hueso M., Vellido A., Montero N., et al. (2018) "Artificial intelligence for the artificial kidney: pointers to the future of a personalized hemodialysis therapy" *Kidney Diseases*. Vol. 4, No. 1. Pp.1–9.
4. Johnson K. W., Torres Soto J., Glicksberg B. S., et al. (2018) "Artificial intelligence in cardiology" *Journal of the American College of Cardiology*. Vol.71, No. 23. Pp. 2668–2679.
5. Topol E. J. (2019) "High-performance medicine: the convergence of human and artificial intelligence" *Nature Medicine*. Vol. 25, No. 1. Pp. 44–56.
6. Niel O., Bastard P. (2019) "Artificial intelligence in nephrology: core concepts, clinical applications, and perspectives" *American Journal of Kidney Diseases*. Vol. 74, No.6. Pp. 803–810.
7. Santori G., Fontana I., Valente U. (2007) "Application of an Artificial Neural Network Model to Predict Delayed Decrease of Serum Creatinine in Pediatric Patients After Kidney Transplantation" *Transplantation Proceedings*. Vol. 39, N 6. Pp. 1813–1819.
8. Tzallas A.T., Tsipouras M.G., Fotiadis D.I. et al. (2007) "Automatic Seizure Detection Based on Time-Frequency Analysis and Artificial Neural Networks" *Computational Intelligence and Neuroscience*. Vol. 2007. Pp. 1–13.
9. Sathish P., Elango N. M. (2019) "Exponential cuckoo search algorithm to Radial Basis Neural Network for automatic classification in MRI images" *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering: Imaging & Visualization*. Vol. 7, No. 3. Pp. 273–285.
10. Liubchenko K.M. (2009) "Ekspertni systemy v praktychnii medytsyni. Visnyk NTUU «KPI»" [Expert systems in practical medicine. Bulletin of NTUU "KPI"] *Informatics, management and computer engineering*. No. 51. P. 22.
11. Soloviov S. O., Dzyublyk I.V., Zaliska O.M., Sakhno A. O. (2016) "Analitychne obgruntuvannia vkluchennia protyvirusnogo preparatu v skhemu likuvannia patsientiv z pidozroiu na hostre virusne zakhvoriuvannia" [Analytical Justification of Including the Antiviral Drug into Treatment Scheme for Patients with Suspected Viral Disease]. *Annals of Mechnikov Institute*, No. 4. 2016. Pp. 18–26.

12. Dzyublik I.V., Yurchenko A.V., Stepchenkova T.V. (2014) "Analysis of lethal causes of among HIV-infected patients of the Kiev City AIDS Center in 2013". Preventive medicine. № 3-4. Pp. 48–49.
13. Soloviov S.O., Dzyublik I.V. (2013) "Some approaches to the modeling of recurrent cases of rotavirus infection among children in Ukraine". Proceedings of Shupyk NMAPE staff. № 22(4). Pp. 506–515.
14. Perova I.G. (2014) "Adaptivnaya obrabotka dannykh mediko-biologicheskikh issledovaniy metodami vychislitel'nogo intellekta" [Adaptive data processing of biomedical research using computational intelligence methods] Eastern European Journal of Advanced Technologies. No. 67. P. 24–28.
15. Martseniuk V. P., Stakhanska O. O. (2014) "Pro klinichnu systemu, shcho gruntuietsia na pravylakh, na osnovi tekhnolohii DataMining" [About a rule-based clinical system based on DataMining technology] Medical informatics and engineering. No. 1. Pp. 24–27.
16. Semenets A. V., Martseniuk V. P. (2015) "Rozrobka platformy systemy pidtrymky pryiniattia rishennia dlia medychnoi informatsiinoi systemy z vidkrytym kodom OPENEMR" [Development of a decision support system platform for the OPENEMR open source medical information system] Medical informatics and engineering. No. 3. Pp. 22–40.
17. Vahis O.A. (2017) "Doslidzhennia pokaznykiv zdorovia na osnovi lantsiuhiv Markova" [A study of health indicators based on Markov chains] Computer Mathematics. No. 2. Pp. 78–84.

**Doctor of Technical Science, Professor Barabash O.V.,
Ph.D. Svyinchuk O.V., Bandurka O.I., PhD Open'ko P.V.
INFORMATION SYSTEM FOR SELECTION OF OPTIMAL STRATEGIES FOR
TREATMENT OF VIRAL DISEASES**

Recently, the importance of information support of medical technologies has increased. Widely used modern information technology, development and application of information technology is one of the urgent tasks. Most personal computers are used only for processing text documents, storing and processing databases, statistics, financial reporting. The article is devoted to the problems of choosing the optimal strategies for the treatment of viral diseases, which is quite an acute and urgent issue today. The aim of this study is to create an information system based on the architecture of a clinical diagnostic decision support system (DSS) that uses a knowledge base to assist the physician in his personal decision-making process.

The developed software product will consist of several modules with characteristic functions: categorization of parameters and indicators according to the initial data of patients and division of the sample of the corresponding categories of parameters, selection of analysis and display of results. This system processes data and displays the results in the form of graphs showing the dynamics of changes in temperature of patients with prognosis.

The system will provide information to the user, not the exact "answer", which was the purpose of their development. The user must analyze this information and discard erroneous or unnecessary information. He must be active and interact with the system, not just a passive recipient of information. User interaction with the system plays an important role in choosing how to use DSS. Modeling of health indicators is based on the mathematical apparatus of Markov chains. This technique allows you to calculate the sets of unconditional probabilities from the initial data and to make a probabilistic forecast of the health status of an individual or groups of the population for future periods of life.

Key words: viral disease, decision support system, treatment strategy, Markov chains.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАДАЧ ПОБУДОВИ БЕЗДРОТОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ

В роботі проведено дослідження задач побудови бездротових сенсорних мереж, основним етапом їх вирішення є розробка моделей опису сенсорної мережі та відповідних методів, технологій забезпечення необхідних параметрів якості функціонування сенсорної мережі. Проведене дослідження передбачає розгляд основних технологій та стандартів, в яких присутня можливість реалізувати створення бездротових сенсорних мереж. Основою бездротових сенсорних мереж є канали зв'язку, організовані між елементами мережі за допомогою відповідної технології бездротового зв'язку. Основні задачі побудови бездротових сенсорних мереж: визначення параметрів трафіку; визначення переліку послуг; розробка або вибір моделі мережі; визначення показників функціонування мережі; вирішення задач компромісу між якістю функціонування, трафіком та об'ємом ресурсів. Ряд технологій організації мережі бездротового зв'язку мають широке поширення у корпоративних мережах зв'язку, використовують не ліцензований діапазон частот, і в приватних мережах, що дозволяє їх використання в ряді задач, через щільність пристроїв, що їх підтримують і доступність технологій. Ряд технологій, не підтримують функцій самоорганізації сенсорної мережі зв'язку. Такі механізми можуть бути реалізовані при використанні програмних засобів та відповідних протоколів на мережному рівні. Існуючі технології, мають можливість організації зв'язку від десятків до десятків тисяч метрів. Для конкретних прикладних завдань є одним із суттєвих факторів вибору відповідної технології.

Імовірність зв'язності в бездротових сенсорних мережах залежить від структури та параметрів, що визначають дану мережу: характеристика зони обслуговування (об'ємна, плоска, конфігурація, геометричні розміри), кількість вузлів мережі, характеристики комунікаційних можливостей елементів мережі (діаграми спрямованості антен, стандарти та протоколи, дальність зв'язку, потужність передавачів), особливості задіяних протоколів маршрутизації. Особливості забезпечення зв'язності в бездротових сенсорних мережах полягають у можливості використання, побудованими з використанням різних технологій, шлюзів дозволяє суттєво розширити можливості бездротових мереж у збільшенні ймовірності зв'язності. Особливістю побудови бездротових сенсорних мереж є суттєві відмінності у обслуговування трафіка у використовуваних мережах різних технологій. Показники якості функціонування бездротових мереж, такі як пропускна здатність, затримка, ймовірність втрат взаємозалежні показують, наскільки ефективно функціонує сенсорна мережа. При зміні одного з показників якості функціонування бездротових сенсорних мереж воно відбивається на інших показниках якості.

Ключові слова: model, сенсорні мережі, зв'язність, ефективність, ймовірність зв'язності, мережевий трафік, канали зв'язку.

Вступ. Бездротові сенсорні мережі багато в чому визначають трафік Інтернет мереж зв'язку і є на сьогодні одним з основних компонентів концепції Інтернет Речей. Бездротові сенсорні мережі інтенсивно розвиваються завдяки швидкості розгортання, відносно низькій вартості, а також можливості застосування в умовах, коли використовувати кабельні мережі не доцільно [4]. В бездротових сенсорних мережах, як і в інших мережах зв'язку, важливе місце відводиться питанню забезпечення якості функціонування Інтернет мережі. Одним із основних параметрів, бездротових сенсорних мереж якості функціонування є зв'язність [1,5].

Технології бездротових сенсорних мереж, на сучасному етапі проникають у різні сфери життєдіяльності людини, такі як наука, військова справа, медицина, сільське господарство, фізичні системи безпеки, робототехніка, промисловість.

Зв'язність в бездротових сенсорних мережах є можливість доступності сенсорного вузла відносно до інших вузлів. Зв'язність між вузлами залежить від факторів, таких як:

спрямованості антен, радіусу зв'язку вузлів, від взаємного розташування в мережі вузлів і характеризується ймовірністю зв'язності. Ймовірність зв'язності визначає фізичну можливість доставки даних. Для успішної доставки даних така можливість є необхідною, але не достатньою. Фактично, ймовірність доставки даних залежить також від якості каналу зв'язку на кожній ділянці маршруту. Неможливість доставки даних може бути причиною втратами пакетів у каналі, через сторонні перешкоди, через інтерференцію мережі між вузлами, перевантаженням трафіка мережі [2,3].

Аналіз останніх досліджень та постановка задачі. Відсутність зв'язності в бездротових сенсорних мережах призведе до повного чи часткового порушення працездатності. Для повного відновлення зв'язності необхідно оцінити ймовірність зв'язності бездротових сенсорних мереж. Наступним кроком є додавання вузлів для відновлення зв'язності бездротових сенсорних мереж.

Також для визначення та реалізації послуг необхідно знати такий показник мережі, як ефективність зв'язності бездротових сенсорних мереж.

На сьогодні вирішено та розглянуто проблеми бездротових сенсорних мереж, як кластеризація, збільшення часу життєвого циклу, покриття, маршрутизація. Однак, задача оцінки та забезпечення зв'язності повністю не вирішені. На сучасному етапі пропонується використання кооперативної передачі та спрямованих антен для збільшення зв'язності. Питання оцінки ймовірності зв'язності шляхом додавання додаткових вузлів, згідно до відповідного алгоритму, до теперішнього часу досліджені не були. Також, на сьогодні залежність якості обслуговування мереж від ймовірності зв'язності не досліджено.

Рішення додатка бездротових сенсорних мереж спрямовано на контроль машин (автомобілі, механізми, роботи), а також користувачів. Включає пристрої з машинно-орієнтованим зв'язком (пристрої без втручання людини).

Задачі бездротових сенсорних мереж:

- моніторинг фізичного стану (температура, освітленість, вологість, задимленість, основні життєві параметри органів людини, технічних систем);
- обробка даних, результату моніторингу;
- управління, вплив на процеси з урахуванням отриманих даних.

Моніторинг, пов'язаний з використанням чутливих вимірювальних елементів (сенсорів), для оцінювання стану об'єкта. Обробка включає обчислювальні ресурси сенсорних вузлів, або виділених вузлів (серверів) та відповідного програмного забезпечення, для вирішення конкретних задач. Управління включає наявність активаторів (виконуючих пристроїв), здатних виконувати роботу при отриманні відповідної команди, для реалізації та досягнення мети функціонування бездротової сенсорної мережі [3,10].

Елементи сенсорної мережі можна поділити на три групи [3,4]:

1. Сенсорний вузол – здатний збирати дані за допомогою сенсорів з навколишнього середовища. Сенсорний вузол може передавати дані, використовуючи при цьому радіоканал іншому елементу мережі, для подальшої обробки даних. Живлення сенсорного вузла здійснюється зазвичай від невеликої батареї або акумулятора. Крім розмірів, є й інші жорсткі обмеження для вузлів безпроводних сенсорних мереж. Вони повинні: працювати з великою кількістю вузлів; споживати мало енергії; мати низьку вартість виробництва; адаптуватися до навколишнього середовища; працювати без обслуговування і бути автономними. Зовнішній вигляд сенсорних вузлів приведений на рис.1.

2. Сервер (шлюз) – програмне забезпечення та пристрої, для збору даних від сенсорних вузлів, обробка, зберігання та періодичне оновлення отриманих даних. Сервер передає команди (інформацію) вузлам сенсорної мережі, а також іншим окремим виконуючим пристроям.

3. Активатор (виконавчий пристрій) – виконує дії на основі команд (даних) від контролера. Використовують, три типи активаторів: інформаційні активатори, забезпечують візуальну, сенсорну та звукову взаємодію з користувачами; активатори-машини,

електромеханічні пристрої, забезпечують фізичну взаємодію із зовнішнім середовищем; активатори-шлюзи, забезпечують передачу контрольних сигналів для інших Інтернет мереж.

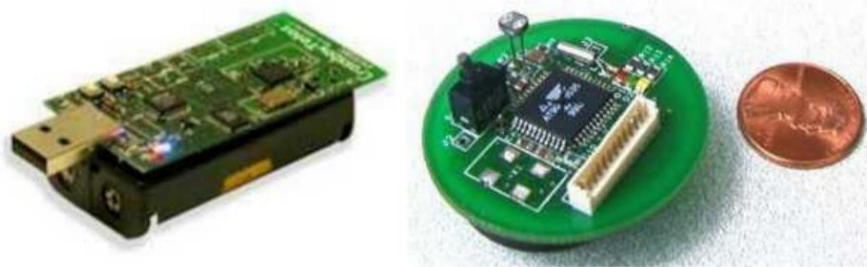


Рисунок 1 - Зовнішній вигляд сенсорних вузлів

За даними Zion Market Research використання технологій бездротових сенсорних мереж характеризується одержуваними доходами, прогноз зростання доходів становить понад 70% на рік. Динаміка зміни доходів наведено рис. 2.

Як показано на рис. 2 наведеного прогнозу, у перспективі спостерігається все більш стабільного зростання інтересу та їх використання до бездротових сенсорних мереж.

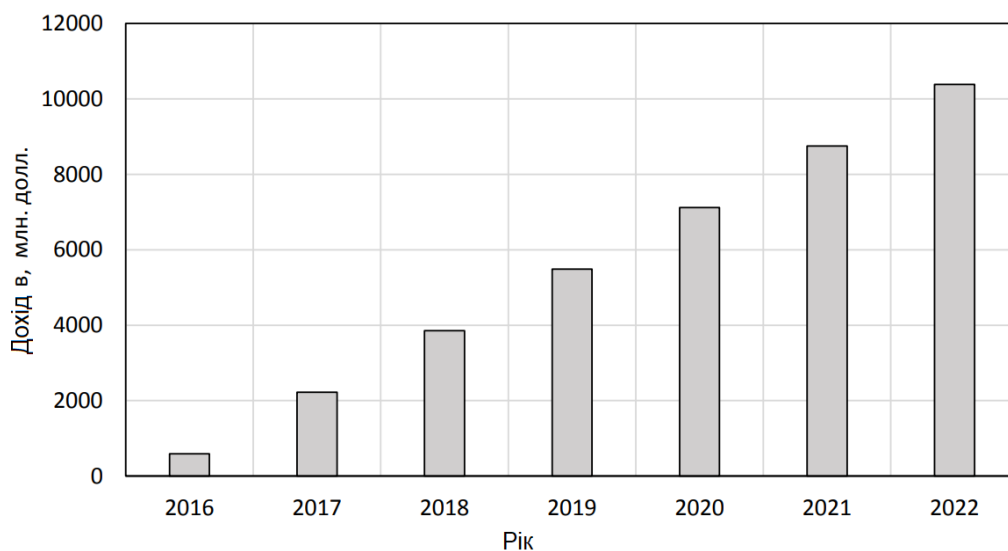


Рисунок 2 - Прогноз зміни доходів у світі від використання бездротових сенсорних мереж

На рис. 3 наведено екстраполяція та прогноз Cisco, про зростання використання пристроїв Інтернет речей, на рис. 4 наведено прогноз зміни Інтернет речей включених в бездротові сенсорні мережі зв'язку. Як наведено на рис. 3 і рис. 4, передбачається зростання кількості пристроїв Інтернет речей, а також їх проникнення частки, включених у бездротові сенсорні мережі зв'язку. На теперішній час, і в найближчій перспективі, більшість наведених пристроїв стануть елементами бездротових сенсорних мереж [15].

Децентралізована конфігурація використовується, коли попит на контролерів та центральний канал зв'язку мінімальний. Децентралізована конфігурація для застосування бездротових сенсорних мереж є більш універсальною у плані поширеності, надійності та гнучкості. Дана конфігурація забезпечує можливість використання в багатьох програмах, а також включаючи проекти управління надзвичайними ситуаціями. Використання централізованої конфігурації призводить до ризику відмови системи у випадку несправності одного з пристроїв сенсорної мережі. Централізована конфігурація бездротової сенсорної мережі – прийняття рішення сенсорною мережею проходять через контролери і надається виконавчим пристроям використовуючи центральний канал зв'язку. Даний підхід використовується, коли виконавчі пристрої (активатори) можуть зв'язуватися з сенсорною

мережею тільки у випадку використання центрального каналу зв'язку та у ситуації коли небажано змінювати структуру сенсорної мережі.

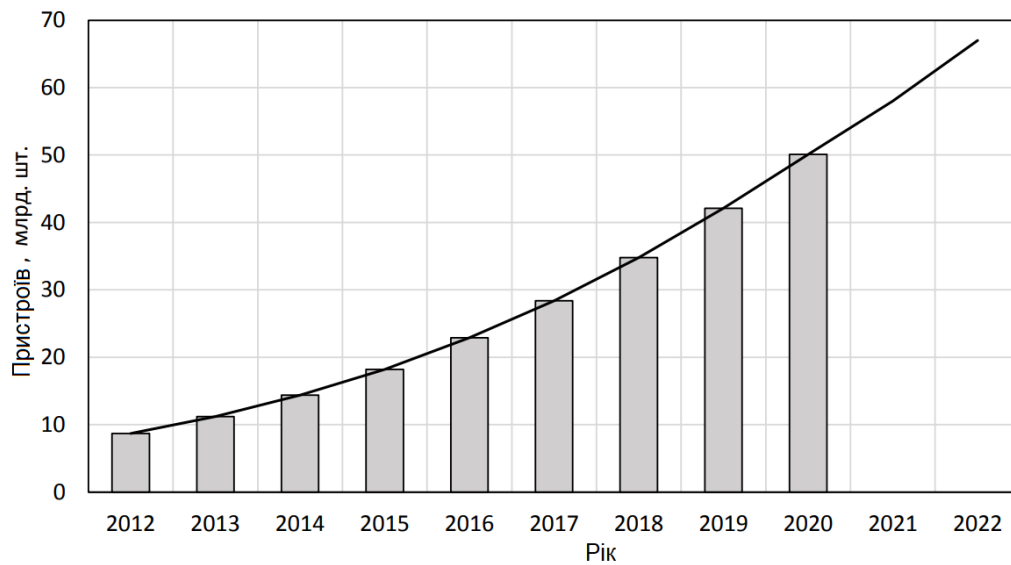


Рисунок 3 - Прогноз зростання використання пристроїв Інтернет речей

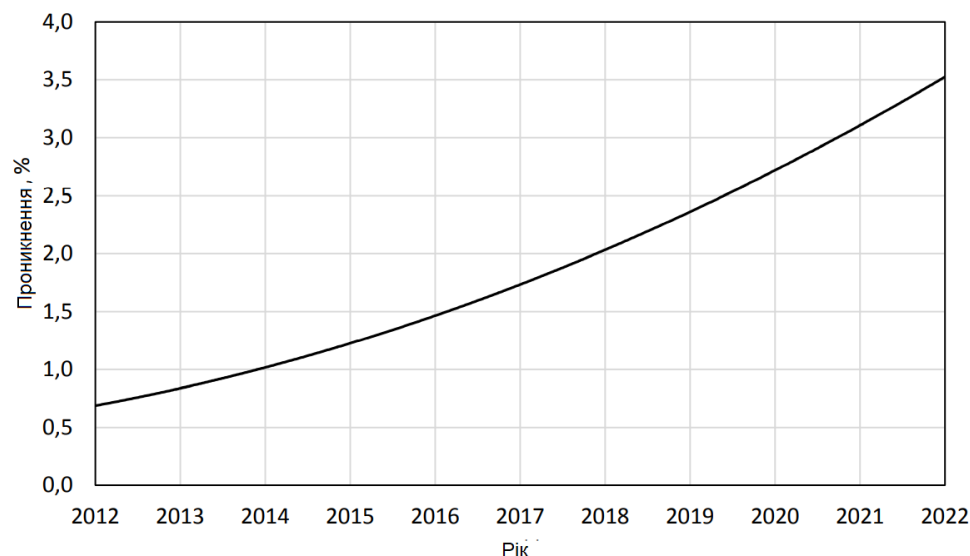


Рисунок 4 - Прогноз проникнення Інтернет речей, включених у бездротові сенсорні мережі зв'язку

Ad-hoc конфігурація використовує в своїй основі ad-hoc мереж (Bluetooth, ZigBee) для передачі даних до активаторів. Даний підхід використовується, коли існує необхідність розширювати інфраструктуру мережі та активатори при цьому мають можливості ad-hoc мереж. Розглянемо показники якості функціонування бездротової сенсорної мережі [3].

Зв'язність. Параметр мережі, який забезпечує зв'язок між елементами мережі: зв'язок контролера з виконавчим пристроєм; зв'язок контролера з мережею Next Generation Network; зв'язок контролера з сенсорними вузлами мережі; зв'язок виконавчого пристрою із сенсорними вузлами мережі.

Мобільність. Бездротові сенсорні мережі повинні підтримувати мобільність елементів мережі. Мобільність сенсорної мережі можна розбити на три основні типи: мобільність усередині мережі; мобільність між бездротовими сенсорними мережами; мобільність мережі, бездротова сенсорна мережа переміщається між інфраструктурними мережами.

Поінформованість про контекст - інформація, яка використовується для визначення характеристики середовища користувача. Контекстна інформація використовується при прийнятті рішення сенсорною мережею при виконанні задач, які вирішує бездротова сенсорна мережа. Контекстна інформація має бути зібрана та передана до відповідних елементів сенсорної мережі. Затримка передачі оновленої інформації не повинна погіршувати надійність функціонування бездротової сенсорної мережі. Контекстна інформація - інформація про місцезнаходження елементів, технологічні можливості елементів мережі; обчислювальне навантаження елементів, стан вузлів сенсорної мережі, інформація про несправність вузлів, навантаження трафіку мережі. Поінформованість про місцезнаходження. Для програмного забезпечення бездротових сенсорних мереж необхідна інформації про місцезнаходження елементів сенсорної мережі. Поінформованість про присутність - поділяється на дві частини: операційну присутність та мережну присутність. Операційна присутність - інформація про працездатність вузла мережі і які виконує поточні операції. Мережна присутність - інформація про готовність та зв'язність вузла мережі до взаємодії з іншими вузлами сенсорної мережі. Поінформованість про несправність - має реагувати на відмову або несправність будь-якого елемента мережі, для забезпечення доступності та надійності сенсорної мережі.

Маршрутизація - програмне забезпечення бездротових сенсорних мереж вимагає, з використанням розподілених механізмів, підтримки маршрутизації. Необхідно визначати оптимальний шлях між відповідними парами елементів мережі.

Масштабованість - програмне забезпечення бездротових сенсорних мереж вимагає надання відповідної масштабованості з використанням Р2Р чи інших розподілених механізмів, для надання відповідних послуг користувачам.

Відмовостійкість - бездротова сенсорна мережа забезпечує працездатність мережі у випадку відмови одного або декількох елементів мережі одночасно. У разі відмови елементів мережі, їх задачі динамічно будуть перенесені на інших елементів.

Безпека - бездротова сенсорна мережа потребує також надійного захисту через використання чутливих даних. Необхідно також враховувати, що сенсорні вузли не можуть забезпечити відповідні функції безпеки, оскільки елементи мережі мають безліч системних обмежень. Дані, що передаються по сенсорній мережі, не мають захисту чи надійного шифрування. До бездротових сенсорних мереж висувають наступні вимоги безпеки: використання надійних засобів виявлення атак, а також транспортних протоколів мережі стійких до атак [2,6].

Управління надзвичайних ситуацій - відповідне програмне забезпечення бездротових сенсорних мереж забезпечує підтримку попередження про надзвичайні ситуації, а також надає рекомендації щодо порятунку в даній ситуації, що ґрунтуються на поінформованості про знаходження користувача.

Зв'язність характеризує сенсорну мережу з погляду можливості надання послуги доставки даних. Показник зв'язності визначає здатність виконувати основні функції мережею і є значущою характеристикою сенсорної мережі, наряду з іншими показниками якості обслуговування. У випадку дротових мереж фіксованого зв'язку, у поняття зв'язності вкладають кількісні характеристики структури мережі (кількість маршрутів між вузлами, ліній зв'язку). Можливість відмови у наданні послуги, пов'язують із перевантаженнями мережі трафіком, технічною надійністю ліній зв'язку, обладнання.

На відміну від фіксованих мереж зв'язку, бездротові сенсорні мережі зв'язку не мають жорсткої незмінної структури, тому ймовірність існування маршруту може бути меншою за одиницю в такій мережі. Для бездротових сенсорних мереж поняття зв'язності характеризує можливості мережі забезпечувати зв'язок між абонентами і має ймовірнісний сенс [4,10].

Ймовірність зв'язності в бездротових сенсорних мережах залежить від структури та параметрів, що визначають дану мережу. Можуть бути наступні параметри: характеристика зони обслуговування (об'ємна, плоска, конфігурація, геометричні розміри), кількість вузлів мережі, характеристики комунікаційних можливостей елементів мережі (діаграми

спрямованості антен, стандарти та протоколи, дальність зв'язку, потужність передавачів), особливості задіяних протоколів маршрутизації.

Особливості забезпечення зв'язності в бездротових сенсорних мережах полягають у можливості використання, побудованими з використанням різних технологій, шлюзів дозволяє суттєво розширити можливості сенсорних мереж у збільшення ймовірності зв'язності. Особливістю побудови бездротових сенсорних мереж є суттєві відмінності у обслуговуванні трафіка у використовуваних мережах різних технологій. Побудова бездротової сенсорної мережі в загальній мережі є оптимальний вибір конфігурації та технологій [3,9].

Для вибору конфігурації в сенсорній мережі використовуються методи кластеризації, дозволяють вибирати оптимальні координати розміщення шлюзів бездротових сенсорних мереж. Методи кластеризації дозволяють вирішити задачу конфігурації мережі.

Особливості показників функціонування бездротових сенсорних мереж зв'язку полягають у домінуванні впливу сегментів мережі на показник якості, що надає можливість при цьому знехтувати впливом інших сегментів мережі; у взаємному впливі трафіка при спільному обслуговуванні, вимагає застосування відповідних механізмів пріоритетизації з урахуванням вимог до якості обслуговування; список параметрів якості функціонування сенсорної мережі залежить від вимог до якості обслуговування трафіка, характеру послуг.

Дослідження задач побудови бездротових сенсорних мереж. Бездротові сенсорні мережі можна класифікувати за характеристиками їх вузлів. До складу сенсорних мереж входять три основні елементи: транзитний елемент для передачу трафіка від сенсорного елемента до шлюзу, сенсорний елемент виконує функції збору інформації та передачі даних, вузол шлюзу для взаємодії з мережею загального користування. Транзитний елемент може також виконувати функцію сенсорного елемента. Бездротові сенсорні мережі також класифікуються за способом розміщення їх вузлів: мережі з рухомими вузлами та стаціонарними елементами. За тривалістю функціонування: короткочасного функціонування та тривалого функціонування [10,15].

В бездротових сенсорних мережах для передачі даних використовується технології бездротового зв'язку, працюють у смузі частот, які не ліцензуються. На теперішній час, поширення набули технології як Bluetooth, ZigBee та Wi-Fi. Наведені технології в частині пропускну здатності, мають суттєві відмінності енергоспоживання та інших параметрів, однак дані технології використовують близькі діапазони частот і можуть бути використанні для побудови бездротових сенсорних мереж.

Побудова бездротових сенсорних мереж, пов'язана з вирішенням прикладних задач конкретної предметної області. Для вирішення задач сенсорна мережа повинна надавати певні послуги. Дані послуги можуть бути пов'язані з доставкою, отриманням та обробкою інформації. В залежності від реалізованих послуг мережею, а також від предметної області та задач, до показників якості функціонування бездротових сенсорних мереж можуть бути пред'явленні різні вимоги. На відміну від традиційних мереж зв'язку, діапазон вимог до бездротових сенсорних мереж, визначається конкретними задачами і може бути розширеним. На сьогодні, бездротові сенсорні мережі допускають розширення діапазону вимог.

Таким чином, для вирішення деяких задач допускаються значення втрат та затримок доставки інформації - мережі Delay Tolerant Network (DTN). Однак, до деяких задач можуть бути пред'явленні більш жорсткі вимоги до показників функціонування - послуги з високою інтерактивністю (транспортними засобами, керування віддаленими механізмами, літальними апаратами). В залежності від розв'язуваної прикладної задачі до сенсорної мережі можуть пред'являтися вимоги продуктивності, з необхідним рівнем якості. З боку розробника, є необхідним забезпечення мінімізації вартості експлуатації мережі та обладнання, забезпечити зазначені вимоги мінімальним обсягом задіяних ресурсів [6].

Бездротова сенсорна мережа може розглядатися як комплексна система масового обслуговування, показники функціонування мережі (якість обслуговування), трафік (об'єм послуг) та об'єм ресурсів пов'язані між собою відповідною залежністю. Основною задачею

побудови бездротових сенсорних мереж - забезпечення компромісу між показниками функціонування мережі, об'єм ресурсів і трафіком, що обслуговується. Відповідну задачу можна розглядати як оптимізацію роботи мережі в умовах існуючих обмежень на набір технологій та об'ємом використовуваних технічних засобів [9].

Однак, необхідно зазначити, що з об'ємом ресурсів важливу роль грає спосіб використання цих ресурсів. Для сенсорних мереж зв'язку в даному випадку є вибір структури мережі. Структура сенсорної мережі, впливає на властивості мережі, тобто, багато в чому визначає її показники функціонування.

Основні задачі побудови бездротових сенсорних мереж наступні [1,3,4,9]:

- визначення послуг, які має надавати сенсорна мережа (на основі проведеного дослідження розв'язуваних прикладних задач);

- визначення показників трафіка мережі, що обслуговується даною мережею (на основі проведеного аналізу та дослідження прикладної предметної області та області використання сенсорної мережі);

- визначення вимог до параметрів функціонування сенсорної мережі (якості обслуговування трафіка, кількостей об'єктів, що обслуговуються, області обслуговування, на основі проведеного дослідження розв'язуваних прикладних задач);

- розробка або вибір моделі сенсорної мережі, яка буде враховувати особливості доступних технологій зв'язку та структуру сенсорної мережі (на основі проведеного аналізу наявних теоретичних знань);

- розв'язання задачі забезпечення компромісу між якістю функціонування, об'ємом ресурсів, та трафіком, може розглядатися задача оптимізації, в якій показники управління є параметри, що характеризують структуру мережі та об'єм ресурсів, а показниками стану сенсорної мережі параметри, які відображають якість обслуговування трафіка мережі.

На основі проведеного дослідження задач побудови бездротових сенсорних мереж, основним етапом їх вирішення є розробка (вибір) моделей опису сенсорної мережі та відповідних методів, технологій забезпечення необхідних параметрів якості функціонування сенсорної мережі.

Основою безпроводних сенсорних мереж є канали зв'язку, організовані між елементами мережі за допомогою відповідної технології бездротового зв'язку. Проведене дослідження передбачає розгляд основних технологій та стандартів, в яких присутня можливість реалізувати створення безпроводних сенсорних мереж. Розглянемо особливості доступних на теперішній час технологій бездротового зв'язку, які можуть бути використанні при побудові безпроводних сенсорних мереж.

Технології IEEE 802.15.4: 6LoWPAN (RFC4944); WirelessHART (IEC 62591); ZigBee (ZigBee Alliance) [11,12].

Технології IEEE 802.11: IEEE 802.11(n) s; IEEE 802.11ah [13,14].

Стандарт LPWAN: SigFox; LoRa (LoRa Alliance); Weightless P; NB-IoT.

Стандарт Mobile WiMAX IEEE 802.16e.

Технологія Bluetooth Low Energy v.4.1.

В рамках даної роботи аналізуються такі показники технологій як: зона охоплення; максимальна швидкість передачі даних; відмінні риси кожної технології; робочий діапазон частот.

Технології на базі стандарту IEEE 802.15.4 – стандарт описує протоколи нижнього рівня (MAC та PHY) моделі OSI, є енергозберігаючим низькошвидкісним стандартом для мереж WPAN. Робочий діапазон частот 868.0-868.6 МГц у Європі, 2400-2483.5 МГц в інших країнах світу, 902-928 МГц у Північній Америці. Основні характеристики: для цього стандарту, максимальна швидкість передачі даних досягає до 256 Кбіт/с у діапазоні частот 2483.5-2400 МГц. Пристрої даного стандарту класифікують на дві групи: Full Function Device (FFD) - мають більше можливостей, ніж RFD - координатори і маршрутизатори; RFD (Reduced Function Device) - мають обмежену функціональність. IEEE 802.15.4 підтримує топології організації мережі: точка-точка (Peer-to-Peer); зірка (Star topology). У стандарті IEEE 802.15.4

виділяють два типи вузлів: End Device – кінцеві пристрої. пристроями можуть бути з функціональністю RFD чи FFD; PAN Coordinator – координатор персональної мережі. Координаторами персональної мережі є тільки пристрої типу FDD.

На основі стандарту IEEE 802.15.4 розроблено стандарти для бездротових сенсорних мереж. Стандарт WirelessHART - розроблений для бездротової передачі даних, на основі протоколу HART. Протокол HART забезпечує перетворення та передачу даних зібраних з датчиків для подальшої обробки в мережі. Стандарт WirelessHART параметрами є деякі відмінні параметри від параметрів мереж на основі стандарту IEEE 802.15.4: підтримує топологію mesh поряд з топологіями точка-точка та зірка; збір даних із датчиків які використовують протокол HART; підтримка функції самовідновлення та самоорганізації мережі; пристрої стандарту WirelessHART можуть взаємодіяти на відстані від 200 до 300 м.. Мережа WirelessHART використовує наступні типи пристроїв: шлюз - WirelessHART Gateway забезпечує взаємодії між іншими мережами та мережею WirelessHART; пристрій WirelessHART Adapter збирає та передає у шлюз інформацію з датчиків; польовий пристрій WirelessHART Field Device. Мережа WirelessHART стандартизована у International Electrotechnical Commission, в даний час широко використовується в промисловості.

Стандарт 6LoWPAN - розроблено для взаємодії в мережі IEEE 802.15.4 між пристроями. Як протокол маршрутизації використовує IPv6. Основна ідея стандарту 6LoWPAN полягає у підключенні до глобальної мережі Інтернет пристроїв стандарту IEEE 802.15.4. У стандарті 6LoWPAN додалися такі показники: підтримка mesh-топології; підтримка функцій самовідновлення та самоорганізації мережі [11,12].

Технологія ZigBee, використовує власні протоколи на прикладному та мережевому рівні моделі OSI. Також використовує протоколи регламентовані стандартом IEEE 802.15.4. Широко використовується в периферійних пристроях, побутовій електроніці, у медичних обладнаннях. Протягом тривалого часу працює від батарей. Технологія ZigBee наслідує параметри IEEE 802.15.4 і також додає власні: підтримка функцій самовідновлення та самоорганізації мережі; у ZigBee функціонують наступні пристрої: функціонально обмежений пристрій (RFD) також повнофункціональний кінцевий пристрій (FFD) який збирає дані із сенсорів мережі; повнофункціональний пристрій FFD - маршрутизатор, ретранслює дані на координатор з кінцевих пристроїв; повнофункціональний пристрій FDD -координатор, контролює параметри мережі (перетворення формату даних), виконує маршрутизації пакетів мережі.

Технології на основі стандарту IEEE 802.15.1.

Технології передачі даних Bluetooth – динамічна однорангова мережа, розгортається в обмеженому просторі. Кількість мобільних вузлів сенсорної мережі може сягати до 80. Децентралізоване управління мережею. При організації сенсорної мережі для обробки інформації та керування мережею необхідна загальна точка доступу. Bluetooth 4.1 має наступні показники мережі: підтримує два режими: режим EDR (підвищена швидкість) – до 3 Мбіт/с; низькошвидкісна – 1Мбіт/с; використовує протокол IPv6; радіус зв'язку до 30 метрів; робочий діапазон частот 2,4 - 2,4835 ГГц; підтримує низьке енергоспоживання режим Bluetooth Low Energy; підтримує топології зірка (Star) та точка-точка (Peer-to-peer). Технології передачі даних Bluetooth 4.1 не підтримує функцій самовідновлення та самоорганізації мережі.

Технології на базі використання стандарту IEEE 802.15.6.

Стандарт IEEE 802.15.6 (Body Area Network) є мережею множини сенсорних мініатюрних вузлів, що імплантуються, надягаються на тіло або знаходяться коло тіла людини. Кількість сенсорних вузлів, може досягати до 256 елементів. Body Area Network підтримує різні медичні та спортивні програми. Відповідно до стандарту всі вузли повинні мати відносну високу швидкість передачі даних та невелику потужність. На сьогодні існує три види елементів для BAN-мереж: Implant Node –імплантований усередині людини; Surface Node – знаходиться безпосередньо на відстані до двох сантиметрів або на поверхні тіла; External Node –розташований на відстані до п'яти метрів від тіла людини. Параметри мережі IEEE 802.15.6: радіус зв'язку до 5 метрів; швидкість від 10 кбіт/с до 10 Мбіт/с; робоча частота

6-8 ГГц (Європа), 3,1-10,6 ГГц(США); підтримує топології: mesh, star - зірка; потужність випромінювання від 0,1 мВт до 1 мВт; типи вузлів мережі 802.15.6: координатор (Coordinator) – шлюз до мереж зв'язку загального користування (до зовнішнього світу), для передачі даних на сервер; транзитні вузли (Relay Nodes) – транзит даних між кінцевими вузлами та координатором; кінцеві вузли (End Nodes).

Технології на основі використання стандарту IEEE 802.11 [13,14].

Wi-Fi – набір стандартів, регламентують бездротові з'єднання між пристроями локальної мережі. Працює у них діапазоні частот 0,9, 3,6, 2,4, 5 ГГц. Стандарт IEEE 802.11-2012, регламентує організації бездротових мереж та високошвидкісних каналів зв'язку, які працюють під управлінням протоколів IEEE 802.11s та IEEE 802.11n.

Стандарт IEEE 802.11ah використовується для комутацій на невеликій відстані між машинами - з'єднання M2M). Основні параметри: може мати до 26 каналів зв'язку; робоча частота 0.9 ГГц; радіус зв'язку до 1.2 км, за допомогою підсилювача можна збільшити до 10 км; швидкість передачі даних від 40 Мбіт/с до 150 Кбіт/с; точка доступу підтримує до 8190 пристроїв.

Стандарт IEEE 802.11s підтримує топологію mesh призначений для організації локальної бездротової мережі, і є програмною конфігурацією для стандартів IEEE 802.11b/g/n. Параметри мережі: працює в діапазонах частот 2.4-2.5, 5.0 ГГц; швидкість передачі даних – 600 Мбіт/с; радіус зв'язку до 250 метрів, за допомогою антенних пристроїв та підсилювача можна збільшити до 10 км; ширина каналу зв'язку 20 , 40 МГц; підтримує три топології: зірка (Star), точка- точка (Peer-to-Peer) , Mesh topology [13,14].

Технології на основі стандарту IEEE 802.16.

Mobile WiMAX (Mobile WirelessMAN) – технологія для забезпечення бездротового зв'язку мережі між пристроями. Надає послуги зв'язку для мобільних пристроїв, стаціонарних, які можуть перебувати від базової станції на великих відстанях. Основні параметри мережі: швидкість передачі даних 40 Мбіт/с; діапазон частот: 3.4-3.8 ГГц, 2.5 ГГц, 2.3 ГГц, 3.3 ГГц; радіус зв'язку до 5 км; підтримує Star (зіркову) та Mesh топологію мережі; типи пристроїв: BS (базова станція), керує мережею (розподіляє ресурс між пристроями, роз'єднує, підтримує та встановлює радіоз'єднання); кінцевий пристрій з підтримкою технології WiMAX, Modem з USB-роз'ємом для підключення пристроїв без підтримки WiMAX, ноутбуків.

Технології на основі стандарту LPWAN LoRaWAN.

Стандарт LoRaWAN – на базі LPWAN енергоефективна бездротова мережа далекого радіусу. LoRaWAN дозволяє будувати для збору даних бездротову мережу з вузлів LoRa до яких підключено множини датчиків. Стандарт LoRaWAN розробляється групою LoRa Alliance. LoRaWAN – відкритий протокол для бездротових мереж з великою кількістю елементів. Основні параметри мережі: діапазон частот Європа - 868,8 МГц, США - 915 МГц; максимальний радіус зв'язку до 100 км; ширина частотного каналу (7,8; 10,4; 20,8; 31,25; 62,5; 125; 500 кГц); підтримує топологію мережі star topology; досяжна швидкість максимальна 100 Кбіт/с; складається з шлюзів (Gateway)s та кінцевих вузлів (Endpoints). Шлюз перетворює дані, отримані з кінцевих вузлів, виконує роль маршрутизатора.

Стандарт NB-IoT відповідає вимогам LPWAN-мережі. Стандарт NB-IoT дозволяє перейти від традиційного зв'язку до Інтернет речей. Оператори можуть забезпечити послуги IoT - «розумне місто», інтелектуальні системи обліку, «розумний дім». NB-IoT гарантує величезну кількість з'єднань та широке покриття, низьку енерговитрату, яка забезпечує при цьому десять років автономної роботи. Параметри мережі: ширина частотного каналу 200 кГц; діапазон частот 700/800/900 МГц; Швидкість передачі: DL: 1-200 кбіт/сек, UL: 1-144 кбіт/сек; максимальний радіус зв'язку до 2 км; підтримує топологію зірка (Star); складається з BS (базової станції) та endnodes (кінцевих вузлів) [5,7].

У табл. 1 наведено основні характеристики технологій бездротового зв'язку мережі.

Порівняння параметрів бездротових технологій передачі даних

Технологія	Діапазон частот, МГц	Підтримка самоорганізації	Підтримка IP	Макс. швидкість передачі	Макс. відстань передачі, м
WirelessHART	868.0-868.6	Так	Ні	256 Кбіт/с	300
6LoWPAN	902-928,	Так	Так		200
ZigBee	2400- 2483.5	Так	Ні		600
Bluetooth 4.1	2400 -2483,5	Ні	Так	3 Мбіт/с	100
IEEE 802.11ah	900	Так	Так	40 Мбіт/с	1200 (до 10000)
IEEE 802.11n(s)	2400 -2483,5	Так	Так	600 Мбіт/с	250 (до 10000)
IEEE 802.16e	2300,2500, 3300, 3400-3800	Так	Так	40 Мбіт/с	5000
LoRa	433, 868, 915	Ні	Ні	50 Кбіт/с	45000
Sigfox	868, 916	Ні	Ні	100 Кбіт/с	50000
Weitless P	169,433,470, 780, 868, 915,923	Ні	Ні	100 Кбіт/с	2000
NB-IoT	700, 800, 900	Ні	Ні	200 Кбіт/с	2000

Сенсорні мережі зв'язку можуть застосовуватись без підтримки інфраструктури, на поверхні води, під водою, на полі бою, на тілі та всередині живих організмів, у важкодоступних місцях, у транспортних засобах, у будинках. За структурою організації бездротові мережі зв'язку відносяться до самоорганізуючих мереж. Самоорганізуючі мережі - мережі, які складаються з випадкового числа пристроїв, кількість яких може змінюватися. Джерелом енергії сенсорних вузлів мережі, в більшості, є джерела, що не поповнюються, таким чином час життя сенсорного вузла обмежений часом життя джерела живлення. Для продовження життєвого циклу бездротової мережі зв'язку є використання додаткових джерел енергії - теплові, хімічні, сонячні.

Бездротові мережі поділяються на сенсорні мережі з мобільними вузлами та стаціонарними. Важливою характеристикою сенсорної мережі є покриття простору. Мобільний сенсорний пристрій може якийсь час перебувати поза зоною досяжності, це не означає, що цей сенсорний пристрій вийшов з ладу. Здійснюючи переміщення по випадковій траєкторії, сенсорний пристрій може опинитися в зоні дії інших сенсорних пристроїв [3,15].

Зв'язність сенсорної мережі відіграє важливу роль у функціонування сенсорних мереж, наряду з такими характеристиками як залишкова енергія, покриття території, час життя мережі. В загальному випадку, бездротова сенсорна мережа має випадкову структуру (мережі зі змінним оточенням, рухомими вузлами, обмеженою ємністю джерел електроенергії, мережі з відмовами вузлів).

Розглянемо множину сенсорних пристроїв на довільній території (рис. 5). Для зручності опишемо наступними параметрами: площа території – S (m^2), радіус дії (зв'язку) - r , щільність пристроїв – ρ (вузлів/ m^2) та радіус зони обслуговування – R . Сенсорний пристрій в центрі з радіусом R кола, покриває дане коло і визначає зміну всередині нього фізичних станів. Область дії зв'язку сенсорного пристрою характеризується колом із радіусом r . Сенсорні пристрої, відстань між якими менше r , можуть взаємодіяти один з одним, вони є зв'язковими.

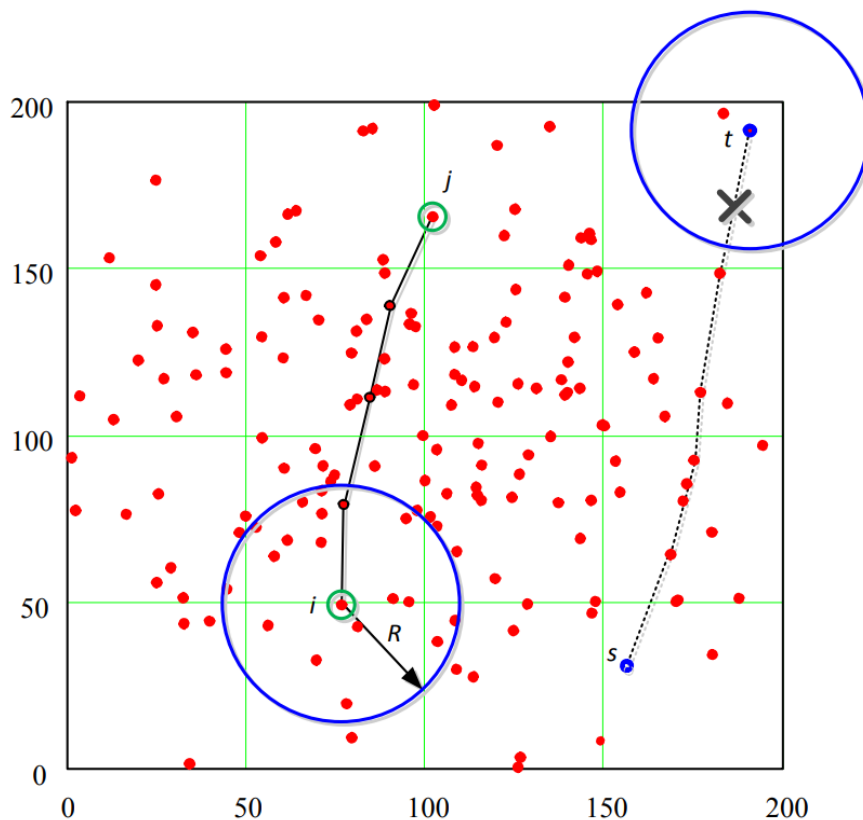


Рисунок 5 - Множина сенсорних вузлів на деякій території

Метою функціонування бездротової сенсорної мережі - отримання інформації, доставка її до центру зберігання та обробки даних, кожен із сенсорних пристроїв повинен надавати таку функціональність. Ця функціональність визначається маршрутом між парами вузлів мережі та шлюзом. Методом побудови сенсорної мережі забезпечується наявність такого маршруту (розміщенням вузлів відносно один одного). Виділяють два способи організації сенсорної мережі: випадковий та детермінований. Вузлі при організації сенсорної мережі випадковим методом знаходяться у випадкових точках на деякій території, маршрут між вузлами мережі може бути прокладено не завжди. Вузлі при організації сенсорної мережі детермінованим методом розміщуються в визначених точках обслуговування. В даному випадку зв'язність бездротової сенсорної мережі забезпечується вибором координат цих точок. Зв'язність сенсорної мережі характеризується між будь-яким із пристроїв бездротової мережі та шлюзом ймовірністю існування маршруту. Ймовірність існування маршруту визначається значною мірою характером, в зоні обслуговування, розподілом вузлів сенсорної мережі. Розподіл ймовірності відстані між сусідніми (найближчими) вузлами розподілена за законом Релея і випадкова [3,9]. Значення функції розподілу дорівнює ймовірності, що відстань між сусідніми вузлами мережі не перевищить l

$$F(l) = P(r \leq l) = 1 - e^{-\pi\rho \cdot l^2} \quad (1)$$

де ρ – щільність сенсорних вузлів у зоні обслуговування (вузлів/м²). Дану властивість безпосередньо можна використовувати для визначення характеристики зв'язності вузлів сенсорної мережі. Для заданої величини ймовірності p_0 зв'язності вузлів можна знайти значення щільності вузлів (рис. 6):

$$\rho = \frac{-\ln(1 - p_0)}{\pi \cdot l^2} \quad (2)$$

При загальному підході маршрут може проходити через декілька вузлів сенсорної мережі, які в свою чергу виконують функції транзиту. В такому випадку, ймовірність визначення маршруту між двома вузлами мережі або вузлом сенсорної мережі і шлюзом

залежатиме від числа транзитів (довжини маршруту) та ймовірностей зв'язності задіяних вузлів.

Зв'язність бездротових сенсорних мереж є мірою взаємозв'язку між сенсорним вузлом та центром зберігання та обробки даних. Даний підхід можливо описати ймовірністю існування маршруту для вузла мережі та залежністю від параметрів бездротової сенсорної мережі.

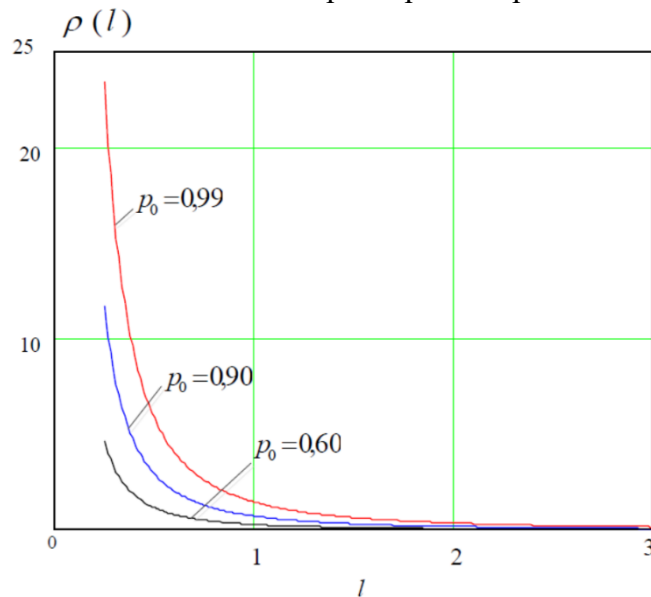


Рисунок 6 - Залежність щільності вузлів мережі для заданої ймовірності зв'язності між вузлами від мінімальної відстані

У бездротових сенсорних мережах зв'язку взаємодіють різні мережі, при цьому можна спостерігати передачі різних трафіків - поточкових, телеметричних. Показники якості функціонування бездротових сенсорних мереж зв'язку можна виділити в три групи: показники достовірності; показники доступності; часові показники.

Показник достовірності: можливість помилок в доставлених даних та можливість втрати даних. Коефіцієнт втрат (імовірність втрати даних) визначається як відношення числа втрачених пакетів до загального числа прийнятих пакетів, залежить від інтенсивності потоку в сенсорній мережі (від завантаженості транзитних вузлів мережі), тривалості черги, кількості маршрутів. Імовірність помилок визначається у доставлених даних як кількість пакетів, прийнятих з помилками, до суми прийнятих пакетів і залежить від факторів фізичного середовища.

Показники доступності: можливість доступності послуги передачі даних мережею, наявність зв'язку між взаємодіючими вузлами мережі. У бездротових сенсорних мережах наявність зв'язку визначається на основі різних факторів: напрямку антени, щільності цих мереж, радіус дії елементів різних мереж, також значною мірою від взаємного розташування об'єктів сенсорної мережі.

Часові показники: час доставки даних. Залежно від переходу через різні технології і кількості транзитних вузлів, час доставки може збільшуватися; затримки доставки даних, властиво до пакетних сенсорних мереж, обчислюється в мілісекундах (відчутно при передачі відео та звуку); пропускна здатність найбільша можлива швидкість передачі даних. Пропускна здатність залежить від мереж через які проходить трафік.

Особливість оцінки показників у бездротових сенсорних мережах пов'язана з використанням різних технологій побудови мережі та необхідністю взаємодії через шлюзи цих мереж. Тому параметри та показники функціонування сенсорних мереж можуть суттєво відрізнятись. Таким чином, на різних ділянках маршруту передачі даних, прокладеного через сенсорну мережу, показники функціонування можуть відрізняються на кілька порядків. Якість маршруту визначатиметься найбільш "вузькою" ділянкою. Використання ділянок маршруту передачі даних із завищеними характеристиками вузлів призводить до недовикористання

ресурсів сенсорної мережі. В даній ситуації слід враховувати вимог до якості обслуговування кожного з потоків, а також взаємний вплив потоків трафіка.

Таким чином, особливостями показників функціонування мережі є: домінування впливу сегментів мережі на показник якості, що дає можливість знехтувати впливом інших сегментів сенсорної мережі; взаємний вплив потоків трафіка при обслуговуванні, при застосуванні механізмів пріоритетизації трафіка з урахуванням до показників вимог якості обслуговування; перелік параметрів якості функціонування сенсорної мережі залежить також від характеру надаваної послуги, вимог до якості обслуговування трафіка.

Показники якості функціонування бездротових мереж, такі як пропускна здатність, затримка, ймовірність втрат взаємозалежні і показують, наскільки ефективно функціонує безпроводна сенсорна мережа. При зміні одного з показників якості функціонування безпроводних сенсорних мереж воно відбивається на інших показниках якості.

Висновки. На основі проведеного дослідження основних показників технологій організації мережі бездротового зв'язку можна зробити висновки: ряд технологій мають широке поширення у WLAN - корпоративних мережах зв'язку, використовують не ліцензований діапазони частот, і в WPAN - приватних мережах, що дозволяє їх використання в ряді задач, через щільність пристроїв, що їх підтримують і доступність технологій; ряд технологій, не підтримують функцій самоорганізації сенсорної мережі зв'язку. Такі механізми можуть бути реалізовані при використанні програмних засобів та відповідних протоколів на мережному рівні; існуючі технології, мають можливість організації зв'язку від десятків до десятків тисяч метрів. Для конкретних прикладних завдань є одним із суттєвих факторів вибору відповідної технології.

Показники якості функціонування бездротових мереж, такі як пропускна здатність, затримка, ймовірність втрат взаємозалежні показують, наскільки ефективно функціонує сенсорна мережа. При зміні одного з показників якості функціонування бездротових сенсорних мереж воно відбивається на інших показниках якості.

Особливості забезпечення зв'язності в бездротових сенсорних мережах полягають у можливості використання, побудованими з використанням різних технологій, шлюзів дозволяє суттєво розширити можливості бездротових мереж у збільшенні ймовірності зв'язності. Особливістю побудови бездротових сенсорних мереж є суттєві відмінності у обслуговування трафіка у використовуваних мережах різних технологій.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Ленков, С.В. Модель безпеки поширення забороненої інформації в інформаційно-телекомунікаційних мережах / С.В. Ленков, В.М. Джулій, В.С. Орленко, О.В. Селюков, А.В. Атаманюк // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К.: ВІКНУ, 2020. – Вип. №68. – С. 53-64.
2. Ленков, С.В. Аналіз існуючих методів та алгоритмів виявлення атак в бездротових мережах передачі даних / С.В. Ленков, В.М. Джулій, Н.М. Берназ, С.О. Божук // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К.: ВІКНУ, 2017. – Вип. № 56. – С.124-132
3. Галелюка, І.Б. Моделювання бездротових сенсорних мереж / І.Б. Галелюка // Комп'ютерні засоби, мережі та системи – 2018. – № 14. – С.141 – 150.
4. Довгий, С.О. Сучасні телекомунікації: мережі, технології, економіка, управління, регулювання / С.О. Довгий, О.Я. Савченко, П.П. Воробієнко – К.: Український Видатничий Центр, 2012. – 520 с.
5. Джулій, В.М. Модель оцінки ймовірнісно-часових характеристик інформаційної взаємодії в мережі інтернет речей / В.М. Джулій, І.В. Муляр, О.В. Селюков, Б.М. Кізюн // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К.: ВІКНУ, 2019. – Вип. № 63. – С.96-106
6. Джулій, В.М. Модель нелегітимного абонента забезпечення безпеки IP-телефонії / О.С. Андрощук, В.М. Джулій, Ю.П. Кльоц, І.В. Муляр // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – Хмельницький, 2020. – №2. – С. 38–45.

7. Джулій, В.М., Кльоц Ю.П., Муляр І.В., Жилевич М.Л., Джулій А.В. Контроль додатків інтернет-трафіка комп'ютерних мереж методами машинного навчання. Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. 2021. № 5. С. 22-26.
8. Джулій, В.М. Метод класифікації додатків трафіка комп'ютерних мереж на основі машинного навчання в умовах невизначеності / В.М. Джулій, О.В. Мірошніченко, Л.В. Солодєєва // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К.: ВІКНУ, 2022. – Вип. №74. – С. 73-82.
9. Лавров, Є. А. Математичні методи дослідження операцій: підручник / Є. А. Лавров, Л. П. Перхун, В. В. Шендрік – Суми : Сумський державний університет, 2017. – 212 с.
10. Олифер, В.Г. Безопасность компьютерных сетей / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. - М. : Горячая линия-Телеком, 2017. - 644 с.
11. IEEE Std 802.15.1-2002, IEEE Standard for Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements.
12. IEEE Std 802.15.2-2003, IEEE Recommended Practice for Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements.
13. IEEE Std 802.11g-2004, IEEE Standard for Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements – Specifications.
14. IEEE Std 802.11n-2009, IEEE Standard for Information technology – Telecommunications and information
15. Риз, Дж. Облачные вычисления. / Дж. Риз: пер. с англ. – СПб.: БХВ-Петербург, 2011. – 288 с.: ил.

REFERENCES:

1. Lenkov, S.V. (2020), Model bezpeky poshyrennia zaboronenoї informatsii v informatsiino-telekomunikatsiinykh merezhakh / S.V. Lenkov, V.M. Dzhulii, V.S. ORLENKO, O.V. Sieliukov, A.V. Atamaniuk // Zbirnyk naukovykh prats Viiskovoho instytutu Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. K.: VIKNU. №68. Pp. 53-64.
2. Lenkov, S.V. (2017), Anallz Isnuyuchih metodiv ta algoritmiv viyavlennya atak v bezdrovohi merezhah peredachi danih / S.V. Lenkov, V.M. Dzhuliy, N.M. Bernaz, S.O. Bozhuk // Zbirnyk naukovykh prats Viyskovogo Institutu Kiyivskogo natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. – K.: VIKNU. – Vip. No 56. – Pp.124-132
3. Haleliuka, I.B. (2018), Modeliuvannya bezdrovovykh sensorykh merezh / I.B. Haleliuka // Kompiuterni zasoby, merezhi ta systemy. – № 14. – Pp.141 – 150.
4. Dovhyi, S.O. (2012), Suchasni telekomunikatsii: merezhi, tekhnolohii, ekonomika, upravlinnia, rehuliuвання /S.O. Dovhyi, O.I. Savchenko, P.P. Vorobiienko – K.: Ukrainnyi Vydatnychii Tsentr. – 520p.
5. Dzhulii, V.M. (2019), Model otsinky ymovirnisno-chasovykh kharakterystyk informatsiinoї vzaiemodii v merezhi internet rechei / V.M. Dzhulii, I.V. Muliar, O.V. Sieliukov, B.M. Kiziun // Zbirnyk naukovykh prats Viiskovoho instytutu Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. – K.: VIKNU. – Vyp. № 63. – Pp.96-106
6. Dzhulii, V.M. (2020), Model nelehitymnoho abonenta zabezpechennia bezpeky IP-telefonii / O.S. Androshchuk, V.M. Dzhulii, Yu.P. Klots, I.V. Muliar // Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh. – Khmelnytskyi. – №2. – Pp. 38–45.
7. Dzhulii V.M., Klots Yu.P., Muliar I.V., Zhylevykh M.L., Dzhulii A.V. (2021), Kontrol dodatkov internet-trafika kompiuternykh merezh metodamy mashynnoho navchannia. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky. – Khmelnytskyi. – №5. – Pp. 22–26.
8. Dzhulii, V.M. (2022), Metod klasyfikatsii dodatkov trafika kompiuternykh merezh na osnovi mashynnoho navchannia v umovakh nevyznachenosti / V.M. Dzhulii, O.V. Miroshnichenko, L.V. Solodieieva // Zbirnyk naukovykh prats Viiskovoho instytutu Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. – K.: VIKNU. – Vyp. №74. – Pp. 73-82.
9. Lavrov, Ye. A. (2017.), Matematychni metody doslidzhennia operatsii : pidruchnyk / Ye. A. Lavrov, L. P. Perkhun, V. V. Shendryk – Sumy : Sumskyi derzhavnyi universytet, – 212 p.
10. Olyfer, V.H. Bezopasnost kompiuternykh setei / V. H. Olyfer, N. A. Olyfer. - M. : Horiachaia lynyia-Telekom, 2017. - 644 p.
11. IEEE Std 802.15.1-2002, IEEE Standard for Information technology-Telecommunications and information exchange between systems-Local and metropolitan area networks-Specific requirements.

12. IEEE Std 802.15.2-2003, IEEE Recommended Practice for Information technology – Telecommunications and information exchange between systems-Local and metropolitan area networks – Specific requirements.

13. IEEE Std 802.11g-2004, IEEE Standard for Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements – Specifications.

14. IEEE Std 802.11n-2009, IEEE Standard for Information technology – Telecommunications and information

15. Riz, Dzh. (2011),” Oblachnyie vyichisleniya” [Cloud computing], per. s angl., SPb.: BHV-Peterburg, 288p.: il.

PhD Dzhuliy V.M., PhD Krasnik A.V.,

PhD Lenkov Ye.S., PhD Okhramovich M.M., Ryaba L.O.

STUDY OF PROBLEMS OF CONSTRUCTION OF SAFE SENSOR NETWORKS

The research of problems of construction of wireless sensor networks is carried out in the work, the main stage of their decision is development of models of the description of a sensor network and the corresponding methods, technologies of maintenance of necessary parameters of quality of functioning of a sensor network. The study involves the consideration of basic technologies and standards in which there is an opportunity to implement the creation of wireless sensor networks. The basis of wireless sensor networks are communication channels organized between network elements using appropriate wireless technology. The main tasks of building wireless sensor networks: determining traffic parameters; determining the list of services; development or selection of a network model; determination of network functioning indicators; solving the problem of compromise between the quality of operation, traffic and resources. A number of wireless networking technologies are widespread in corporate networks, use an unlicensed frequency band, and in private networks, which allows their use in a number of tasks, due to the density of devices that support them and the availability of technology. A number of technologies do not support the functions of self-organization of the communication network. Such mechanisms can be implemented using software and related protocols at the network level. Existing technologies have the ability to organize communication from tens to tens of thousands of meters. For specific applications, it is one of the essential factors in choosing the appropriate technology. The probability of connectivity in wireless sensor networks depends on the structure and parameters that determine the network: characteristics of the service area (volume, flat, configuration, geometric dimensions), number of network nodes, characteristics of communication capabilities of network elements, antenna patterns, standards and protocols, communication range, transmitter power), features of the involved routing protocols.

Features of providing connectivity in wireless sensor networks lie in the possibility of using gateways built using various technologies, which can significantly expand the capabilities of wireless networks in increasing the likelihood of connectivity. A feature of the construction of wireless sensor networks are significant differences in traffic servicing in the networks of different technologies used.

Indicators of the quality of wireless networks, such as bandwidth, delay, probability of loss are interdependent and show how effectively the sensor network works. When you change one of the performance indicators of wireless sensor networks, it affects other quality indicators.

Key words: model, sensor networks, connectivity, efficiency, probability of connectivity, network traffic, communication channels.

ОЦІНКА РИЗИКІВ КІБЕРБЕЗПЕКИ ТА КОНТРОЛЮ КОНФІДЕНЦІЙНОСТІ В ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ ДЕРЖАВНОГО УПРАВЛІННЯ

Актуальність данної роботи обумовлена затвердженням Адміністрацією Державної служби спеціального зв'язку та захисту інформації України “Методичних рекомендацій щодо підвищення рівня кіберзахисту критичної інформаційної інфраструктури” у жовтні 2021 року. Рекомендації було розроблено на основі найкращих світових підходів – NIST CyberSecurity Framework. Наразі розроблені Рекомендації Держспецзв'язку частково втратили свою актуальність та потребують корегування з виходом NIST Special Publication 800-53A Revision 5 “Assessing Security and Privacy Controls in Information Systems and Organizations” та NISTIR 8286C (Draft) “Staging Cybersecurity Risks for Enterprise Risk Management and Governance Oversight”, дата публікації: січень 2022 року. Ці документи завершують цикл інтеграції управління ризиками кібербезпеки (CSRM) та управління ризиками підприємства (ERM).

Зазначені проекти описують методи поєднання інформації про ризики усіх активів системи, мережі організації (підприємства) включаючи умовні приклади для агрегування та нормалізації результатів з реєстрів ризиків кібербезпеки (CSRR) з урахуванням параметрів ризику, критеріїв та впливу на стале функціонування комунікаційних систем. В результаті інтеграція та нормалізація інформації про ризики дають змогу приймати рішення та здійснити моніторинг ризиків на всіх рівнях системи, що допомагає створити вичерпну картину загального кіберризиків. У наведених документах описано створення профілю ризиків організації (ERP), який підтримує порівняння та управління кіберризиками разом з іншими типами ризиків в цілому. Доволі цікавими є погляди авторів розроблених документів, щодо контролю конфіденційності, пов'язаного із системами та їх середовищем розповсюдження, їх функціонуванням. Обґрунтовано, що якісна системна оцінка допомагає визначити наявну дійсність засобів контролю, що містяться в організації відповідно до плану безпеки та конфіденційності, які згодом використовуються в організаційно-штатних системах та середовищі експлуатації. За цих умов, контроль оцінки є вказівкою з виконання конкретних кроків у структурі управління ризиками який цілодобово сприяє ефективному підходу до процесів сталого управління ризиками шляхом виявлення слабких місць, або недоліків в системах, що дозволяє організації визначити порядок реагування на ті, чи інші кіберзагрози.

Отже, для вирішення завдань, з врегулювання та імплементації норм та правил міжнародних організацій сфери кібербезпеки та кібероборони пропонується провести аналіз викладених документів та висунути відповідні пропозиції, щодо корегування та доповнення раніше затверджених Держспецзв'язку “Методичних рекомендацій...”. В свою чергу це дозволить не лише забезпечити захист критичної інформаційної інфраструктури держави від кібератак, а й провести превентивні наступальні операції у кіберпросторі, що включає виведення з ладу критично важливих об'єктів інфраструктури противника шляхом руйнування комунікаційних систем, які управляють такими об'єктами.

Ключові слова: кіберпростір, кібербезпека, кіберзагрози, управління ризиками кібербезпеки, оцінка ризиків кібербезпеки, реєстр ризиків кібербезпеки, комунікаційні системи, нормативно-правовий акт, об'єкт критичної інформаційної інфраструктури.

Вступ та постановка задачі чи проблеми. Відповідно до Закону України “Про основні засади забезпечення кібербезпеки України”, “Загальних вимог до кіберзахисту об'єктів критичної інфраструктури”, затверджених постановою Кабінету Міністрів України від 19 червня 2019 року № 518 та безпосередньо вимог Наказу Адміністрації Держспецзв'язку від 06 жовтня 2021 року № 601 “Про затвердження Методичних рекомендацій щодо підвищення рівня кіберзахисту критичної інформаційної інфраструктури” визначено систему (таксономію) заходів кіберзахисту для досягнення конкретного цільового стану кібербезпеки

що вже впроваджені на об'єктах критичної інфраструктури організаціями в будь-яких секторах економіки [1].

Методичні рекомендації описують загальний підхід до забезпечення кібербезпеки, що дозволяє [2]:

здійснити аналіз та надати характеристику поточного стану кібербезпеки об'єкт критичної інформаційної інфраструктури (далі – ОКІІ);

описати цільовий стан кібербезпеки ОКІІ;

ідентифікувати та визначити пріоритети, рівень упровадження заходів кіберзахисту в контексті безперервного та повторюваного процесу управління ризиками у сфері кібербезпеки ОКІІ;

оцінити прогрес у досягненні цільового стану кібербезпеки ОКІІ;

забезпечити комунікацію між суб'єктами, які безпосередньо знаходяться на ОКІ, та із суб'єктами, які є партнерами організації щодо управління ризиками у сфері кібербезпеки.

З опублікуванням чергового релізу NIST Special Publication 800-53A Revision 5 та NISTIR 8286C (Draft) постає доволі суттєва проблема, щодо внесення змін та корегування існуючого нормативно-правового поля Адміністрацією Державної служби спеціального зв'язку та захисту інформації України щодо ефективності засобів контролю безпеки та конфіденційності, питань категоризації кібербезпеки, системи та оцінки ризику конфіденційності цих систем.

За цих умов, суб'єкти (власники) ОКІ держави мають змогу отримати: відповідні оцінки в режимі реального часу, на основі впроваджених політик безпеки та вимог, відомості про існуючі загрози та відповідні вразливості, час на оперативне реагування, змогу реконфігурувати систему або платформу на відмовостійкість в залежності до існуючого ризику.

Також, слід зазначити, що вдосконалення існуючого нормативно-правового поля, його формування та гнучке використання буде позитивно сприяти послідовному застосуванню заходів безпеки та конфіденційності в загальнодержавній структурі управління ризиками.

В подальшому це дозволить Національному координаційному центру кібербезпеки у взаємодії з іншими суб'єктами забезпечення кібербезпеки держави, мережею ситуаційних центрів органів державної влади (резервних, на рухомій базі) означити потенційні загрози та проблеми за категоріями:

- визначення слабких місць та недоліків, пов'язаних з безпекою та конфіденційністю в системі та в середовищі, в якому працює система;

- концентрація пріоритету в прийнятті рішень щодо реагування на ризики та реалізації механізмів активного впливу на загрози в кібернетичному просторі;

- системний підхід в розгляді виявлених слабких місць та виявлених недоліків в експлуатаційному середовищі;

- моніторингова діяльність на ситуації які циркулюють в комунікаційному просторі щодо кібербезпеки та конфіденційність усвідомлення ситуації яка склалась;

- сприяння всім типам рішень щодо авторизації системи на одній платформі в режимі реального часу;

- складання середньострокових бюджетних рішень та перспективних планів на капітальні інвестиції.

Отже, удосконалення існуючої нормативно-правової бази, підготовка проектів нормативно-правових актів, нормативне врегулювання питань з реалізації заходів, що забезпечують оцінку ризиків кібербезпеки та контролю конфіденційності в інформаційних системах державного управління в її кінцевому результаті дозволять надавати, майже в режимі реального часу інформацію, пов'язану з безпекою та конфіденційністю посадових осіб установи, щодо поточного стану безпеки та конфіденційності їхніх систем та мереж.

Аналіз останніх досліджень. Сучасні підходи до оцінки ризиків інформаційних технологій (на підтримку впровадження галузевих стандартів інформаційної безпеки ГСТУ СУІБ 1.0/ISO/IES 27001:2010 та ГСТУ СУІБ 2.0/ISO/IES 27002:2010) змістовно представлені

для надання змоги організаціям узгодити свою систему управління інформаційною безпекою з відповідними вимогами системи управління або інтегрувати її в них. Ними передбачено використання процесійного підходу для розроблення, впровадження, забезпечення функціонування, моніторингу, аналізу, підтримання та поліпшення системи управління інформаційною безпекою, визначено порядок впровадження загальноприйнятих заходів інформаційної безпеки. Зазначені документи імплементовані в Україні у відповідності до міжнародних нормативно-правових документів, вони є галузевими стандартами.

Також, методологія оцінки ІТ ризиків доволі змістовно описані Національним Інститутом стандартів та технологій США (National Institute of Standards and Technology – NIST). Зазначеними вище документами NIST та NISTIR визначається природа уразливості, ефективність існуючих заходів безпеки, методологія оцінки ризиків, методологія аналізу факторів ризиків інформаційних технологій, заходи з оцінки ризиків, вхідних та вихідних даних, ідентифікація загроз, ідентифікація уразливостей, аналіз заходів захисту та імовірність реалізації загроз [8]. При цьому, пріоритетними сферами, до яких NIST вносить поправки і на яких планує концентрувати свої зусилля є криптографія, освіта, новітні технології, управління ризиками, ідентифікація та управління доступом, вимірювання, конфіденційність, надійність мережі та стале функціонування платформ.

Аналіз існуючої нормативно-правової бази України щодо кіберзахисту державних інформаційних ресурсів свідчить про те, що уніфікація чималої кількості діючих керівних нормативно-правових документів та стандартів відбувається з урахуванням норм міжнародного права, галузевих стандартів та директив ЄС та НАТО, що зафіксовано у Законах та нормативно-правовій базі України [6, 5, 9]. Проведений змістовний аналіз існуючих Законів України та інших нормативно-правових актів України, ЄС, НАТО, провідних країн світу та зокрема США наведено в [4].

Детально розглядаючи питання щодо підвищення рівня кіберзахисту критичної інформаційної інфраструктури держави слід зауважити що в цьому напрямку переважаючими темпами рухається Адміністрація Державної служби спеціального зв'язку та захисту інформації України. При цьому, все ж таки домінуюча кількість документів сфер захисту в кіберпросторі державних інформаційних ресурсів та інформації, вимога щодо захисту якої встановлена законом [3], кіберзахисту критичної інформаційної інфраструктури трансформована у відповідності до міжнародних та галузевих стандартів провідних країн світу.

Враховуючи зазначене вище, слід зауважити, що відповідні “Методичні рекомендації...”, розроблені Держпечзв’язку також не є виключенням. Вони були розроблені з урахуванням Настанови для підвищення кібербезпеки критичної інфраструктури (Framework for Improving Critical Infrastructure Cybersecurity, реліз 1), виданої у 2014 році та оновлені у вигляді релізу 2, у 2018 році Національним інститутом стандартів та технологій Сполучених Штатів Америки [7].

Сьогодні членами NIST є понад 1300 фірм, більше 400 виробничих і торгових компаній, науково-технічних та інженерних товариств, персонал інституту становить 2900 штатних працівників, та 1800 асоційованих співробітників, представників американських компаній та закордонних спеціалістів. Людський потенціал Держпечзв’язку складає лише понад 10 тис. фахівців. Порівнюючи ці дві організаційні структури слід зазначити, що оперативно реагувати в відповідній ІТ динаміці на розробку та корегування нормативно-правової бази цей орган державної влади не має змоги.

Зважаючи на пророблену роботу Адміністрацією Держпечзв’язку, та враховуючи часткову втрату своєї актуальності і потребу в корегуванні документів інформаційного та рекомендаційного характеру з виходом NIST Special Publication 800-53A Revision 5 і NISTIR 8286C (Draft) вважається за необхідне в цій роботі зосередити увагу на вдосконаленні існуючого нормативно-правового поля по застосуванню заходів безпеки та конфіденційності в загальнодержавній структурі управління ризиками.

Виклад основного матеріалу. З початку повномасштабної агресії з боку Російської Федерації було оперативно виявлено та нейтралізовано понад 120 потужних кібератак на ресурси органів державної влади та військового управління України (за даними Microsoft, за останні місяці було проведено 237 кібератак з території Росії). Продовжується поширення дезінформації про війну в Україні. Активну роботу пов'язану з цим виявили у восьми соціальних мережах, зокрема у Telegram, Twitter, Facebook і TikTok та інших.

У відповідь Україна з 24 лютого змінила свою стратегію і стала не лише захищатись від російських кібератак, а й здійснювати кібератаки на ресурси Російської Федерації. За повідомленням віце-прем'єр-міністра - міністра цифрової трансформації України Михайла Федорова, Міністерство цифрової трансформації концентрувалося на постійному захисті від російських кібератак та на створенні продуктів та сервісів [10]. За його словами, вже зламано десятки баз даних Росії і персональні дані громадян викладено у відкритий доступ, також пошкоджено телекомунікаційну інфраструктуру та інфраструктуру багатьох державних реєстрів.

Слід зазначити, що напередодні повномасштабної агресії у ніч із 13-го на 14 лютого хакери зламали понад 70 урядових сайтів. Деструктивному кібервпливу протягом кількох годин підлягали вебресурси Міноборони, МЗС, ДСНС, «Дія». Завдяки оперативним діям наших фахівців вдалось зберегти контент сайтів та захистити дані відповідних користувачів. В цілому за останні місяці українські держоргани та банки вже пережили дві помітні кібератаки. Так, на початку травня противником було відновлено DDoS-атаки на урядові електронні ресурси та телекомунікаційне обладнання інших силових відомств. На складнощі з доступом до програм кілька годин скаржилися користувачі ПриватБанку, Ощадбанку, Мобобанк, А-Банку та Альфа-Банку. Атака тривала близько доби, її вартість коштувала Росії – мільйони доларів.

У цих умовах Національним центром оперативно-технічного управління мережами телекомунікацій здійснюється контроль над телеком-мережами держави. На базі Держспецзв'язку України спільно з Національним центром було проведено спеціальні навчання, під час яких основну увагу було зосереджено на відпрацюванні: процедур взаємодії операторів та держорганів; питань гнучкої та оперативної зміни архітектури маршрутизації мережі; порядку відновлення зв'язку у разі пошкодження регіональних (територіальних) вузлів зв'язку; порядку використання резервного обладнання та каналів передачі даних.

Тож зараз відкривається доволі серйозний напрямок супротиву між Києвом та Москвою на теренах співвідношення обізнаних фахівців в “одиночках-нуліках”. На кіберфронті зараз весь світ воює проти Росії, співвідношення 99 до 1, РФ взагалі немає союзників. Тобто на технічно-технологічному полі агресора за напрямком комунікаційні сервіси, технології та мережі відбувається “Death match”, зазначене надає можливість будь-якій організації, установі, об'єднанню осіб відкритий коридор, щодо відточення своїх практичних навиків, іншими словами “зламати” можна все.

У Росії хакери відносяться в основному до силовиків, тобто ними керують ГРУ, ФСБ, Управління “К” МВС РФ, група ІВ,... і це далеко не добровольці, тобто це люди, які в погонах системно служать у російській армії. А весь світ активістів, ті самі Anonymous, “Мамкины хакеры”, “No name”, зараз “ламають” Російську Федерацію...

Отже, оцінка ризиків кібербезпеки та контролю конфіденційності в інформаційних системах державного управління на протязі всього життєвого циклу є дійсно роботою на упередження деструктивному впливу з боку противника. В цих умовах процедури, з охорони і оцінки конфіденційності повинні регулярно проводитись під час розробки/придбання на всьому етапі реалізації життєвого циклу системи. Проведення оцінок під час фази розробки/придбання та впровадження допомагає забезпечити наявність необхідних засобів контролю системи. Вкрай важливо проводити етап модернізації відповідно до цілей управління ризиками, організаційного забезпечення, інформаційної безпеки, кібербезпеки та архітектури конфіденційності [3].

Так, слабкі сторони та недоліки, пов'язані з безпекою та конфіденційністю, виявлені на початку етапу розробки системи життєвого циклу можуть бути вирішеними швидше і рентабельніше, ніж недоліки виявлені на наступних фазах життєвого циклу. Завчасне виявлення слабких місць і недоліків, пов'язаних із безпекою та конфіденційністю, у вибраних засобах контролю безпеки та конфіденційності полегшує визначення та впровадження відповідних заходів реагування на ризики та забезпечує ефективність реалізації контрольних заходів, які підлягають перевірці під час проектування та тестування системи.

Під час експлуатації та технічному обслуговуванні також повинні проводитись оцінки безпеки та конфіденційності на всіх етапах життєвого циклу, щоб гарантувати, що засоби контролю продовжують бути ефективними в операційній діяльності мережі/системи та здійснюється захист від ризиків та загроз що постійно розвиваються. Після первинної авторизації організація оцінює систему контролю безпеки та конфіденційності відповідно до його політики безпеки.

Процедура оцінювання повинна складатися з набору цілей оцінювання, кожна з яких має відповідний набір потенційних методів оцінки та об'єктів оцінки. Ціль оцінки включає одну або більше детермінаційних заяв. Методи оцінки це конкретні засоби захисту та контрзаходи, що містять апаратне, програмне або мікропрограмне забезпечення використовуються в системі або в системі загального контролю. Об'єкти оцінки визначають конкретні предмети, обладнання які оцінюються як частина даного контролю та включають специфікації, механізми, види діяльності та окремих осіб.

Таблиця 1 ілюструє приклад процедури оцінки контролю, яка розробляється для оцінки ефективності комунікаційної системи, виходячи з технічних вимог, розроблених спеціалістами організації на конкретну систему відповідно.

Таблиця 1. Приклад процедури оцінювання контролю

Віддалений доступ/Віддалене адміністрування	
МЕТА ОЦІНЮВАННЯ	Оберіть визначений варіант, якщо:
	політики безпеки щодо обмеження використання встановлені та задокументовані для кожного елемента системи, віддалений доступ дозволений
	вимоги до конфігурації/підключення встановлені та задокументовані, віддалений доступ дозволений для кожного типу обладнання системи
	для кожного типу встановлені та задокументовані рекомендації щодо налагодження та впровадження політик безпеки, віддалений доступ дозволений
	кожен тип віддаленого доступу до системи підтверджується процесом авторизації користувача
МЕТОДИ ТА ОБ'ЄКТИ ОЦІНКИ ПОТЕНЦІАЛУ	Виберіть з:
	політика контролю доступу; впровадження та використання (включаючи обмеження) процедур, що стосуються віддаленого доступу; план управління конфігурацією; налаштування конфігурації системи та пов'язана документація; дистанційний доступ до алгоритму авторизації; автоматична система запису процесів аудиту; план безпеки системи; інші відповідні документи або записи
	організаційний персонал з відповідальністю ставиться до підключення за допомогою віддаленого доступу; наявні в управлінні організації/підприємстві адміністратори системи/мережі; організаційною структурою передбачено персонал, який відповідає за кібербезпеку
	можливість керування віддаленим доступом системи/мережою

Методи оцінювання визначають характер дій оцінювача і включають обстеження, співбесіду, і тест.

- Метод огляду – це процес перегляду, інспектування, спостереження, вивчення чи аналіз одного або кількох об'єктів оцінки (специфікації, механізми, устрій або їх спільні дії) щоб полегшити розуміння оцінювачам, отримати роз'яснення або отримати докази.

- Метод інтерв'ю – це процес проведення дискусій з окремими особами або групою осіб в організації, щоб полегшити оцінювачу розуміння, досягнення роз'яснення або отримання доказів.

- Метод тестування – це процес виконання на одному або кількох об'єктах оцінювання (діяльність або механізми) за певних умов для порівняння фактичного стану об'єкту до бажаного стану, або очікуваної поведінки об'єкта. У всіх трьох методах оцінки результати використовуються для прийняття конкретних необхідних визначень у детермінаційних заявах і таким чином досягаються цілі оцінки процедури.

За цих обставин процес оцінки контролю повинен включати:

- діяльність, яку здійснюють організації та оцінювачі для підготовки до безпеки та оцінки контролю конфіденційності;

- розробку планів оцінки безпеки та конфіденційності;

- проведення контролю оцінки та аналіз, документування та звітність результатів оцінки;

- аналіз звіту після оцінки та подальші заходи.

На цих умовах, порядок проведення тестування на проникнення проводиться як контрольована спроба порушити безпеку та конфіденційність засобів контролю, що застосовані в системі, використовуючи методи зломисника та відповідне телекомунікаційне обладнання і спеціальне програмне забезпечення. Тестування на проникнення являє собою результати конкретного оцінювача або групи оцінювачів у певний момент часу з використанням узгоджених правил роботи. Враховуючи складність інформаційних технологій, які сьогодні зазвичай використовують організації, тестування на проникнення можна розглядати не як засіб для перевірки функцій безпеки та конфіденційності системи, а як засіб для покращення розуміння архітектурної побудови системи, виявлення слабких місць, або недоліків в системі з розрахунком відповідних сил та засобів, необхідних для недопущення порушення сталого функціонування системи, а у разі загострення ситуації – варіантів з відновлення її роботи.

Вправи з тестування на проникнення можуть бути запланованими та/або випадковими відповідно до визначених політик безпеки. Можна розглянути виконання тестів на проникнення на будь-якій нещодавно розробленій або застарілій системі, яка проходить оновлення. Організації активно контролюють системне середовище та середовище загроз – Sandboxie (наприклад, нові вразливості, методи атаки, розгортання нових технологій, безпека користувачів, обізнаність та навчання щодо конфіденційності) [11], щоб визначити зміни, які потребують виходу з циклу тестування на проникнення.

Тест на проникнення повинен розроблятися завчасно з огляду на визначені критерії, як правило їх елементами є:

1. Сканування вразливостей за межами топології мережі, при цьому враховуючи всі існуючі ризики, у тому числі застосовуючи індикатори кіберзагроз, що попереджає заподіяння шкоди сталому, надійному та штатному режиму функціонування комунікаційних та/або технологічних систем.

2. Критична оцінка ситуації, щодо невірної конфігурації системи, настройки обладнання, використання сервісів та технологій, здійснення обміну даними і т.і..

3. Чітко визначений обсяг архітектурної побудови системи:

- визначення середовища, що підлягає тестуванню (наприклад засоби, абоненти/користувачі, організаційні групи);

- визначення поверхні атаки, що підлягає перевірці (наприклад сервери, настільні системи, бездротові мережі, веб-додатки, виявлення та запобігання вторгненням системи,

брандмауери, облікові записи електронної пошти, безпека та конфіденційність користувачів і алгоритм реагування на інцидент, включаючи порушення персональних даних/інформації);

- визначення джерел загроз для моделювання (перелік зловмисників, їх профілі, які будуть використовуватися, наприклад внутрішній зловмисник, випадковий зловмисник, поодинокий або група зовнішніх цільових зловмисників);

- визначення цілей для імітованого зловмисника (наприклад отримання домену доступу адміністратора до LDAP організації - Lightweight Directory Access Protocol-структуру, з доступом до утентифікації (bind), пошуку (search) та порівняння (compare), а також операції додавання, зміни або видалення записів) [12];

- визначення рівня затрат (наприклад, часу та ресурсів).

4. Ретельна інтерпретація файлів даних системного журналу, включаючи всі виявлені вразливості та кіберінциденти.

5. Проникнення в систему як індикатор стійкості системи.

6. Перевірка існуючих засобів контролю безпеки та конфіденційності (включаючи механізми зменшення ризику, такі як брандмауери та системи виявлення та запобігання вторгненням).

7. Перевірка і відтворення, у разі потреби, журналу усіх дій виконаних під час тесту.

8. Підготовка та надання звіту про результати тесту з інформацією про можливі заходи з відновлення після успішно проведених атак.

Основна мета звітів про оцінку безпеки та конфіденційність – це передача результатів оцінки контролю безпеки та конфіденційності відповідним посадовим особам організації. Звіт про оцінку безпеки та звіт про оцінку конфіденційності включені в авторизацію системи одним цілим разом із планом безпеки системи та планом конфіденційності (або аналог з метою здійснення загального контролю), план дій і етапи, а також узагальнені дані які мають інформацію, необхідну для прийняття рішень посадовою особою на основі ризиків щодо того, чи починати функціонування системи (продовжити її роботу).

Оцінка та авторизація набуває більш динамічного характеру, більшою мірою покладаючись на безперервний моніторинг аспектів процесу протягом всього життєвого циклу системи з можливістю оновлення звітів про оцінку безпеки та конфіденційність, що в свою чергу стає критичним аспектом програм інформаційної безпеки та конфіденційності.

Звіти про оцінку безпеки та конфіденційності забезпечують дисциплінований та структурований підхід до документування висновків оцінювача та рекомендацій щодо їх виправлення слабких сторін або недоліків в контролі безпеки та конфіденційності.

Ключові елементи звітності про оцінку безпеки та конфіденційність:

- Ім'я системи;
- Категоризація безпеки;
- Оцінка сайту(ів) та дата(и) оцінки;
- Ім'я/ідентифікація оцінювача;
- Попередні результати оцінки (у разі повторного використання);
- Позначник контролю безпеки/конфіденційності або покращення контролю;
- Вибрані методи та об'єкти оцінки;
- Значення атрибутів глибини та покриття;
- Підсумок результатів оцінки;
- Коментарі оцінювача (відзначені слабкі сторони або недоліки);
- Рекомендації оцінювача (пріоритети, виправлення, коригувальні дії або покращення).

Під час фактичної оцінки безпеки та контролю конфіденційності результати оцінки, коментарі та рекомендації документуються за допомогою відповідних форм звітності, визначених організацією або платформою. В наведеній таблиці 2 нижче представлений приклад результату оцінки безпеки та конфіденційності.

ПОШУК ІМОВІРНОСТЕЙ		
МЕТА ОЦІНЮВАННЯ Визначте, якщо:	ОЦІНКА ПОШУКУ	КОМЕНТАРІ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ОЦІНЮВАЧА
проміжок часу, протягом якого необхідно провести пошукові заходи на випадок надзвичайних ситуацій. визначено роль або відповідальність на випадок непередбачених обставин	задоволений	політика планування на випадок надзвичайних ситуацій системи визначає (визначений організацією) час. термін 4 тижні.
періодичність, з якою необхідно провести пошукові заходи в системі. визначено роль/відповідальність	задоволений	політика планування на випадок надзвичайних ситуацій в системі. визначає періодичність, як щорічну
періодичність перегляду та оновлення політик безпеки. зміст визначено	задоволений	політика планування на випадок надзвичайних ситуацій в системі. визначає періодичність, як щорічну
події, реагування на які потребує перегляду та оновлення політики безпеки. визначений	більше ніж задоволений	жодний пошук подій/вразливостей не індифікується системою, потреба в перегляді та оновленні політик безпеки тренування в надзвичайних ситуаціях
робота у випадку надзвичайних ситуацій надається користувачам системи відповідно до розмежування прав доступу, визначених часових показників. виправданий ризик та відповідальність у випадку надзвичайних ситуацій	задоволений	
надання прав користувачам до системи під час виявлення вразливостей і реагування на комп'ютерні надзвичайні події відповідно до доступу абонентів та їх відповідальність за дії в системі під час внесення змін в її роботу/налагодження	більше ніж задоволений	при позначені як "не задоволений", оцінювачам не вдалося знайти доказів підготовка користувачів системи на випадок надзвичайних ситуацій була проведена відповідно до їх категорії та обов'язків, персонал не залучався до заходів підготовки коли відбулися/були заплановані значні зміни в налагодженні системи
підготовка з користувачами у випадку надзвичайних ситуацій в системі проводиться відповідно до розподілу за категоріями, правами, політикою безпеки, періодичність визначається організацією	задоволений	
зміст навчального плану відповідає загальному плану організації відповідно до дій у надзвичайних ситуаціях періодичність перегляду та оновлення його змісту визначається організацією	задоволений	

ПОШУК ІМОВІРНОСТЕЙ		
МЕТА ОЦІНЮВАННЯ Визначте, якщо:	ОЦІНКА ПОШУКУ	КОМЕНТАРІ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ОЦІНЮВАЧА
тематика змісту навчального плану щодо практичних дій у надзвичайних ситуаціях переглядається та оновлюється, періодичність визначається організацією	більше ніж задоволений	

Постійна оцінка безпеки та конфіденційності – це постійна оцінка ефективності впровадження контролю безпеки та конфіденційності. Автоматизація оцінок є основним елементом допомоги організаціям в управлінні інформацією щодо ризиків безпеки конфіденційності. Загрози та зміни в обробці ідентифікаційних даних створюють проблеми для організації, які розробляють, впроваджують та експлуатують складні системи, які складаються з апаратних, мікропрограмних та програмних компонентів.

Кожна детермінаційна заява, виконана оцінювачем, призводить до одного з наступних висновків: задоволений, більше ніж задоволений.

Можливість оцінити всю реалізовану безпеку і контроль конфіденційності так часто, як це необхідно, з використанням ручних або процедурних методів став неприємлемим для більшості організацій через розмір, складність та обсяг інформації про технологічну інфраструктуру.

Для того, щоб ефективно автоматизувати оцінки контролю безпеки та конфіденційності з використанням потрібного стану стратегії специфікації, важливо відповідати наступним передумовам:

- Визначаються автоматизовані специфікації фактичного стану та поведінки;
- Визначаються специфікації бажаного стану на основі даних (порівнянні з фактичним станом);
- Метод для обчислення або виявлення дефектів (тобто відмінностей між бажаним і фактичним).

Коли передумови виконані, система оцінювання може автоматично обчислити, де виникають відмінності між бажаним і фактичним станом (дефектами). Ця інформація використовується для формування звітів про оцінку безпеки та конфіденційності. Зазначені звіти надаються визначеному персоналу через консоль керування безпекою та конфіденційністю (панель інструментів). Коли для проведення оцінювання використовуються автоматизовані засоби, використовується метод тестового оцінювання.

Під час фактичної оцінки безпеки та контролю конфіденційності результати оцінки, коментарі, а також рекомендації документуються за допомогою відповідних форм звітності, визначених організацією або платформою. Організаціям необхідно розробляти стандартні шаблони для звітності, які містять ключові елементи звітності про оцінку, описані вище. Коли можливо, автоматизація використовується, щоб зробити збір даних оцінки та звітність економічно ефективним та своєчасним інструментом, що є вкрай важливо.

Отже, в роботі здійснено огляд проблемного поля дослідження та корегування теоретичних підходів до реалізації нормативно-правової бази (нормативно-правових актів) які регулюється законодавством, що визначає повноваження спільних дій основних суб'єктів забезпечення кібербезпеки, суб'єктів кіберзахисту та власників (розпорядників) об'єктів критичної інформаційної інфраструктури під час попередження, виявлення, припинення кібератак та кіберінцидентів, а також при усуненні їх наслідків.

Дістали подальшого розвитку: практичний підхід до можливості здійснення кіберзахисту (у т.ч. активного кіберзахисту) власної інформаційної інфраструктури (засобів рухомого зв'язку, як апаратної, так і контентної складових, додатків та сервісів зв'язку, інших інформаційно-телекомунікаційних систем та об'єктів інформаційної діяльності суб'єктів

оборони держави) від кібератак та кібервпливу противника, що забезпечує необхідний рівень інформаційного забезпечення управління військами та зброєю.

Висновки. Виходячи з викладеного, можливо зробити наступні висновки, що інформаційні посилання, наведені в рекомендаціях Держспецзв'язку, є довідковими та не є вичерпними. В цілому рекомендації базуються на національних стандартах, нормативних документах, прийнятих в Україні, а також деякі довідкові посилання базуються на міжнародних і регіональних стандартах, нормативних документах інших країн.

Також, під час їх розроблення було враховано Настанови для підвищення кібербезпеки критичної інфраструктури (Framework for Improving Critical Infrastructure Cybersecurity, реліз 1), виданої у 2014 році та оновлені у вигляді релізу 2, у 2018 році Національним інститутом стандартів та технології Сполучених Штатів Америки.

З виходом NIST Special Publication 800-53A Revision 5 і NISTIR 8286C (Draft) з'явилась потреба у вдосконаленні існуючого нормативно-правового поля по застосуванню заходів безпеки та конфіденційності в загальнодержавній структурі управління ризиками.

Тому авторським колективом було запропоновано розглянути відповідні зміни в методології оцінки ризиків кібербезпеки та контролю конфіденційності в інформаційних системах державного управління.

В подальшому використання зазначених пропозицій на об'єктах критичної інформаційної інфраструктури, гнучке їх використання буде позитивно сприяти послідовному застосуванню заходів безпеки та конфіденційності в загальнодержавній структурі управління ризиками.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Постанова кабінету міністрів України від 19 червня 2019 р. № 518 Про затвердження Загальних вимог до кіберзахисту об'єктів критичної інфраструктури, [Електронний ресурс] – Режим доступу <https://zakon.rada.gov.ua/go/518-2019-п>.

2. Наказ Адміністрації Держспецзв'язку від 06 жовтня 2021 року № 601 Про затвердження Методичних рекомендацій щодо підвищення рівня кіберзахисту критичної інформаційної інфраструктури, [Електронний ресурс] – Режим доступу <https://cip.gov.ua/ua/news/nakaz-administraciyi-derzhspeczv-yazku-vid-06-zhovtnya-2021-roku-601-pro-zatverdzhennya-metodichnikh-rekomendacii-schodo-pidvishennya-rivnya-kiberzakhistu-kritichnoyi-informaciyoi-infrastrukturi>.

3. Живило Є.О., Черноног О.О. Стратегія кібероборони України // *Збірник наукових праць Військового інституту телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут*. Київ. 2017. Вип. 4 – [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://www.viti.edu.ua/files/zbk/2017/4/4_4_2017.pdf.

4. Живило Є.О., Черноног О.О., Вдовенко С.Г., Докіль В.М. Аналіз нормативно-правової бази функціонування системи кібероборони та системи кіберзахисту в інформаційно –телекомунікаційних системах військового призначення. *Збірник наукових праць Військового інституту Київського Національного університету імені Тараса Шевченка*. Київ. 2022. Вип. 74. С. 52-66.

5. Закон України “Про основні засади забезпечення кібербезпеки України” від 05.10.2017 р. № 2163-VIII // Законодавство України [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2163-19#Text>.

6. Стратегія кібербезпеки України, введена в дію Указом Президента України від 26 серпня 2021 року № 447/2021, [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://www.president.gov.ua/documents/4472021-40013>.

7. Методичні рекомендації щодо підвищення рівня кіберзахисту критичної інформаційної інфраструктури, [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://dut.edu.ua/ua/news-1-569-9870-metodichni-rekomendacii--schodo--pidvischennya--rivnya-kiberzahistu-kritichnoi-informaciyoi-infrastrukturi_kafedra-cistem-tehnichnogo-zahistu-informacii.

8. Сучасні підходи до оцінки ризиків інформаційних технологій, [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://present5.com/suchasni-pidhodi-do-ocinki-rizikiv-informacijnih-technologij-na/>.

9. Закон України “Про ратифікацію Конвенції про кіберзлочинність” від 10.03.2006 р. № 2163-VIII // Законодавство України [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2824-15#Text>.

10. Україна почала здійснювати кібератаки на ресурси рф з 24 лютого – Федоров, – 2022 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.ukrinform.ua/rubric-technology/3456506-ukraina-pocala-zdijsnuvati-kiberataki-na-resursi-rf-z-24-lutogo-fedorov.html>.

11. Живило Є.О., Докіль В. М. Кібервійська України: своєчасна відповідь на виклики сьогодення. *Науковий вісник Національної академії внутрішніх справ*. Київ. 2021. Вип. 2 (47). С. 18–34. Таямно – Інв. 588 від 14.12.2021 у НАВС.

12. Синхронизация LDAP с Azure Active Directory– 2022 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://docs.microsoft.com/ru-ru/azure/active-directory/fundamentals/sync-ldap>.

REFERENCES:

1. Postanova kabinetu ministriv Ukrainy` vid 19 chervnya 2019 r. # 518 Pro zatverdzhennya Zagal`ny`x vy`mog do kiberzaxy`stu ob`yektiv kry`ty`chnoyi infrastruktury`, [Elektronny`j resurs] – Rezhy`m dostupu: <https://zakon.rada.gov.ua/go/518-2019-p>.

2. Nakaz Administraciyi Derzhspeczvyazku vid 06 zhovtnya 2021 roku # 601 Pro zatverdzhennya Metody`chny`x rekomendacij shhodo pidvy`shhennya rivnya kiberzaxy`stu kry`ty`chnoyi informacijnoyi infrastruktury`, [Elektronny`j resurs] – Rezhy`m dostupu: <https://cip.gov.ua/ua/news/nakaz-administraciyi-derzhspeczvyazku-vid-06-zhovtnya-2021-roku-601-pro-zatverdzhennya-metodichnikh-rekomendacii-shhodo-pidvishennya-rivnya-kiberzakhistu-kritichnoyi-informaciyoi-infrastrukturi>.

3. Zhy`vy`lo Ye.O., Chernonog O.O. Strategiya kiberoborony` Ukrainy` // Zbirny`k naukovy`x pracz` Vijs`kovogo insty`tutu telekomunikacij ta informaty`zacyi imeni Geroyiv Krut. Ky`yiv. 2017. Vy`p. 4 – [Elektronny`j resurs] – Rezhy`m dostupu: http://www.viti.edu.ua/files/zbk/2017/4/4_4_2017.pdf.

4. Zhy`vy`lo Ye.O., Chernonog O.O., Vdovenko S.G., Dokil` V.M. Analiz normaty`vno-pravovoyi bazy` funkcionuvannya sy`stemy` kiberoborony` ta sy`stemy` kiberzaxy`stu v informacijno – telekomunikacijny`x sy`stemax vijs`kovogo pry`znachennya. Zbirny`k naukovy`x pracz` Vijs`kovogo insty`tutu Ky`yiv`s`kogo Nacional`nogo universy`tetu imeni Tarasa Shevchenka. Ky`yiv. 2022. Vy`p. 74. S. 52-66.

5. Zakon Ukrainy` “Pro osnovni zasady` zabezpechennya kiberbezpeky` Ukrainy`” vid 05.10.2017 r. # 2163-VIII // Zakonodavstvo Ukrainy` [Elektronny`j resurs] – Rezhy`m dostupu: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2163-19#Text>.

6. Strategiya kiberbezpeky` Ukrainy`, vvedena v diyu Ukazom Prezy`denta Ukrainy` vid 26 serpnya 2021 roku # 447/2021, [Elektronny`j resurs] – Rezhy`m dostupu: <https://www.president.gov.ua/documents/4472021-40013>.

7. Metody`chni rekomendaciyi shhodo pidvy`shhennya rivnya kiberzaxy`stu kry`ty`chnoyi informacijnoyi infrastruktury`, [Elektronny`j resurs] – Rezhy`m dostupu: https://dut.edu.ua/ua/news-1-569-9870-metodichni--rekomendacii--schodo--pidvishennya--rivnya-kiberzahistu-kritichnoi-informaciyoi-infrastrukturi_kafedra-cistem-tehnicnogo-zahistu-informacii.

8. Suchasni pidxody` do ocinky` ry`zy`kiv informacijny`x texnologij, [Elektronny`j resurs] – Rezhy`m dostupu: <https://present5.com/suchasni-pidxodi-do-ocinki-rizikiv-informacijnix-texnologij-na/>.

9. Zakon Ukrainy` “Pro raty`fikaciyu Konvenciyi pro kiberzlochy`nnist`” vid 10.03.2006 r. # 2163-VIII // Zakonodavstvo Ukrainy` [Elektronny`j resurs] – Rezhy`m dostupu: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2824-15#Text>.

10. Ukraina pochala zdijsnyuvaty` kiberatomy` na resursy` rf z 24 lyutogo – Fedorov, – 2022 [Elektronny`j resurs] – Rezhy`m dostupu: <https://www.ukrinform.ua/rubric-technology/3456506-ukraina-pocala-zdijsnuvati-kiberataki-na-resursi-rf-z-24-lutogo-fedorov.html>.

11. Zhy`vy`lo Ye.O., Dokil` V. M. Kibervij`s`ka Ukrainy`: svoechasna vidpovid` na vy`kly`ky` s`ogodennya. Naukovy`j visny`k Nacional`noyi akademiyi vnutrishnix sprav. Ky`yiv. 2021. Vy`p. 2 (47). S. 18–34. Tayemno – Inv. 588 від 14.12.2021 у НАВС.

12. Sy`nxrony`zacy`ya LDAP s Azure Active Directory– 2022 [Elektronny`j resurs] – Rezhy`m dostupu: <https://docs.microsoft.com/ru-ru/azure/active-directory/fundamentals/sync-ldap>.

**RISK ASSESSMENT OF CYBER SECURITY AND CONTROL OF PRIVACY IN PUBLIC
ADMINISTRATION INFORMATION SYSTEMS**

The relevance of this work is due to the approval by the Administration of the State Service for Special Communications and Information Protection of Ukraine “Methodological recommendations for increasing the level of cyber protection of critical information infrastructure” in October 2021. The recommendations were developed based on the world's best approaches - the NIST CyberSecurity Framework. At the moment, the developed Recommendations of the State Special Communications Service have partially lost their relevance and require adjustment with the release of NIST Special Publication 800-53A Revision 5 “Assessing Security and Privacy Controls in Information Systems and Organizations” Governance Oversight”, publication date: January 2022. These documents complete the cycle of integrating cybersecurity risk management (CSRM) and enterprise risk management (ERM).

These projects describe methods for combining risk information of all system assets, an organization (enterprise) network, including conditional examples for aggregating and normalizing results from cybersecurity risk registers (CSRR) taking into account risk parameters, criteria and impact on the continuous functioning of communication systems. As a result, the integration and normalization of risk information enables decision-making and monitoring of risks at all levels of the system, which allows you to create a comprehensive picture of the overall cyber risk. These documents describe the creation of an Organizational Risk Profile (ERP) that supports the comparison and management of cyber risks along with other risk types in general. Quite interesting are the views of the authors of the developed documents regarding the control of confidentiality associated with systems and their distribution environment, their functioning. It is substantiated that a qualitative system assessment helps to determine the existing controls contained in the organization in accordance with the security and confidentiality plan, which are subsequently used in organizational systems and the operating environment. In this environment, the assessment control is an indication of the implementation of specific steps in the risk management structure, which contributes around the clock to an effective approach to sustainable risk management processes by identifying weaknesses or deficiencies in systems, which allows the organization to determine how to respond to certain cyber threats.

Therefore, in order to solve the problems of settling and implementing the norms and rules of international organizations in the field of cybersecurity and cyberdefence, it is proposed to analyze the above documents and put forward appropriate proposals for correcting and supplementing the previously approved State Communications “Methodological recommendations ...”. In turn, this will allow not only to ensure the protection of the state's critical information infrastructure from cyber attacks, but also to conduct preventive offensive operations in cyberspace, which includes disabling critical enemy infrastructure facilities by destroying communication systems that control such facilities.

Keywords: cyberspace, cybersecurity, cyberthreats, cybersecurity risk management, cybersecurity risk assessment, cybersecurity risk register, communication systems, legal act, critical information infrastructure object.

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ВХІДНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ІНФОРМАЦІЙНОГО ПРОСТОРУ ТА ВІДНОВЛЕННЯ ЇХ ПАРАМЕТРІВ В ЄДИНОМУ ІНФОРМАЦІЙНОМУ ПРОСТОРИ ВИРОБНИЧОГО ПІДПРИЄМСТВА З КРИТИЧНОЮ ІНФРАСТРУКТУРОЮ

Сучасне виробництво неможливо уявити без інтегрованих інформаційних систем управління даними, що забезпечують стійкість технологічних, фінансових, логістичних та інших процесів. В основу концепції покладено побудову єдиного інформаційного простору на базі прогресивних інформаційних технологій. Одним з ключових аспектів побудови єдиного інформаційного простору підприємства є інтеграція автоматизованих систем усіх підрозділів підприємства в єдиний інформаційний простір. Реалізація такої концепції є запорукою підвищення ефективності виробничих процесів, скорочення термінів освоєння та запуску нових видів продуктів, підвищенню загальних обсягів випуску продукції. Більше того, це відбувається з одночасною глибокою інтеграцією проектних груп різних підрозділів в єдину високопрофесійну команду підприємства, яка націлена на досягнення єдиної цілі. Такий підхід вимагає відповідних трансформацій інформаційного простору підприємства.

У роботі розглядаються елементи інформаційного простору, їх параметри і зв'язки, які утворюють єдиний інформаційний простір виробничого підприємства з критичною інфраструктурою. Елементи інформаційного простору представлено у вигляді окремих вузлів із встановленими зв'язками за повнозв'язною топологією.

Описано алгоритм відновлення параметрів атомарних елементів інформаційного простору в єдиному інформаційному просторі та алгоритм ідентифікації вхідних атомарних елементів інформаційного простору в єдиному інформаційному просторі. В основі останнього лежить покроковий аналіз ознак об'єкту із використанням запитів до нього з метою надання можливості прийняття рішень для його ідентифікації. Перевірено за допомогою методів машинного навчання спосіб ідентифікації вхідного елемента інформаційного простору в інформаційному просторі.

Ключові слова: єдиний інформаційний простір, інформаційна система, параметри елемента інформаційного простору, ідентифікація.

Вступ та постановка задачі. Стрімкий розвиток технічного прогресу, зумовленого домінуючою роллю інформаційних технологій, що охоплюють та пронизують практично всі аспекти економічної та соціальної діяльності людей, створює нові виклики для дослідників та практиків, порушуючи питання незворотності трансформацій цілих систем виробництва, менеджменту та управління. Головним здобутком трансформацій глобальної інформаційної інфраструктури та масштабної автоматизації виробництва є фактичне злиття автоматизованого виробництва, обміну даних і виробничих технологій в єдину саморегульовану систему з якнайменшим або взагалі відсутнім втручанням людини у виробничий процес.

Виробничі підприємства з критичною інфраструктурою в умовах стрімкого розвитку інформаційних технологій, постійного підвищення швидкості ведення бізнесу та економії фінансування потребують засобів, що дозволяють підвищувати ефективність оперативного управління виробничого підприємства з критичною інфраструктурою, тому актуальним та доцільним є створення єдиного інформаційного простору даного підприємства. Це дозволить оптимізувати всі процеси, підвищити ефективність процесів пошуку даних у зв'язку з постійним їх зростанням, що зберігаються на виробничих серверах, та при прийнятті рішень.

Метою роботи є удосконалення методів відновлення відсутніх параметрів інформаційних об'єктів системи в інформаційному просторі та ідентифікації елементів інформаційного простору за допомогою єдиного інформаційного простору.

Аналіз останніх досліджень. Нині широко використовуються як різні моделі управління підприємством, так і підходи до проектування інформаційної архітектури та організації бізнес-процесів підприємства. У результаті аналізу результатів досліджень [1,2] зроблено висновок, що для забезпечення узгодженого управління даними та інформаційним простором підприємства необхідно побудувати єдиний інформаційний простір підприємства.

У роботі [3] описано методика створення єдиного інформаційного простору на сучасному виробничому підприємстві з функціонально стійким виробничим процесом. Сучасні промислові підприємства у великій мірі автоматизовані та здатні автономно виконувати багато технологічних процесів протягом наперед заданих часових інтервалів випускаючи продукцію з високими стандартами споживчої та експлуатаційної якості. Залежно від типу, призначення, способу організації технічної системи, нині гостро стоїть проблема мінімізації впливу людського фактору у виробничих процесах, розвитку критеріїв оцінки і методів підвищення функціональної стійкості для інформаційних систем підприємства; ретельне вивчення окремих класів технічних систем і визначення найбільш ефективних засобів підвищення їх функціональної стійкості [4].

У роботі [5] розроблено математичну модель інформаційного простору виробничого підприємства на основі пов'язаних даних та побудовано на її основі архітектуру розподіленої інформаційної системи, функціональність якої може бути збільшена шляхом додавання нових модулів та схем даних шляхом конфігурування керуючих компонентів. Запропонована модель єдиного інформаційного простору показує взаємодії користувача з інформаційним простором та забезпечує ефективне виконання завдань оперативного управління.

У роботі [6] розглянуто розробку методології та засобів підтримки процесу проектування та практичної реалізації єдиного інформаційного простору виробничого підприємства. Запропонована методологія дозволяє вищому керівництву, аналітикам, розробникам та ІТ-фахівцям швидко реагувати на зміну організаційно-технічних умов виробництва та впливу зовнішнього середовища, уточнювати й узгоджувати вимоги до елементів системи контролю підприємства, постійно вдосконалювати та модернізуватися єдиному інформаційному простору під час роботи підприємства. Показано, що застосування існуючих методологій і позначень недостатньо для забезпечення узгодженості на кожному рівні проектування єдиного інформаційного простору з відповідними програмними документами: стратегія розвитку бізнесу, функціональні стратегії (у тому числі стратегія розвитку інформаційних технологій, стратегія цифрової трансформації тощо), опис проекту та технічні завдання на розробку програмно-технічного забезпечення тощо.

У статті [7] проаналізовано концепцію єдиного інформаційного простору та показано на прикладах деякі проблеми, пов'язані з його побудовою та використанням у реальному світі.

У роботі [8] описано алгоритм формування уніфікованих понять для зв'язування параметрів так, щоб у результаті зв'язку було отримано єдиний інформаційний об'єкт та побудовано матрицю єдиного інформаційного простору системи дистанційного навчання на основі онтологічного аналізу.

Розглянуто методи пошуку та ідентифікації інформаційних об'єктів у роботах [9-12]. Але розглянуті алгоритми при цьому є досить вузькими і не виходять за рамки простих інтерфейсів, що залишає відкритим питання про розроблення більш масштабованих алгоритмів мінімізації інтерфейсів.

У роботі [13] розглянуто етапи ідентифікації інформаційного об'єкта в єдиному інформаційному просторі та запропоновано метод пошуку відсутніх ознак вхідного об'єкта шляхом реалізації взаємодії інформаційних об'єктів між собою всередині єдиного інформаційного простору, хоча не розглянуто вид топології для реалізації такого пошуку.

На основі операційного методу, що використовує дискретні нетейлерівські перетворення, пропонується відновлення параметрів об'єктів інформаційного забезпечення автоматизованих систем управління [14, 15], хоча в моделі відсутній неперервний аргумент та не враховано похибку.

Основні результати досліджень. Розглянемо множину інформаційних просторів, таких як IS_1, IS_2, \dots, IS_n , де n – це кількість інформаційних просторів. Кожен такий інформаційний простір має свій набір інформаційних об'єктів – елементів інформаційного простору e_1, e_2, \dots, e_m , де m – кількість елементів інформаційного простору. Кожен елемент інформаційного простору має відповідний набір параметрів t_1, t_2, \dots, t_k , де k – кількість параметрів, і для кожного e_1, e_2, \dots, e_m кількість параметрів однакова (якщо деякі параметри відсутні, то їх значення дорівнює NONE). Вхідні елементи інформаційної системи, інформація про які зчитується за допомогою сенсорів, позначимо через $e_{b_1}, e_{b_2}, \dots, e_{b_i}$.

Зважаючи на те, що в інформаційному просторі всі його елементи різні, тобто $e_1 \neq e_2 \neq \dots \neq e_m$, він може бути представлений як система, що постійно оновлюється та поповнюється даними. Для цього необхідно:

1. Розпізнати вхідні елементи інформаційної системи e_{b_i} не прив'язуючись до конкретного інформаційного елементу і таким чином сформуванати інформаційний простір.

2. Для кожного вхідного елемента інформаційної системи за допомогою сенсорів зчитати його характеристики, тобто параметри.

3. Провести ідентифікацію вхідного елемента інформаційної системи, тобто інформаційний простір повинен однозначно визначити чи існує ще один елемент з аналогічними параметрами.

Формально таку модель можна описати у вигляді:

$$IS = \langle E, T, Z, f \rangle,$$

де E – множина елементів інформаційного простору; T – множина параметрів елементів інформаційного простору; Z – множина типів зв'язків, яка знаходиться як об'єднання множини зв'язків між елементами інформаційного простору та множини зв'язків між параметрами елементів інформаційного простору; f – відображення, що задає конкретне відношення з множини типів зв'язків Z між елементами інформаційного простору.

Єдиний інформаційний простір, що по суті є об'єднанням всіх інформаційних просторів, можна подати у вигляді графа:

$$UIS = \langle IS(E, T, Z, f), \tilde{Z}, \tilde{f} \rangle,$$

де IS – множина інформаційних просторів; \tilde{Z} – множина типів зв'язків, яка знаходиться також як об'єднання множини зв'язків між елементами різних інформаційних просторів та множини зв'язків між параметрами елементів різних інформаційних просторів); \tilde{f} – відображення, що задає конкретне відношення з множини типів \tilde{Z} між множиною інформаційних просторів IS .

Підмножина параметрів T_{ij} визначається для вхідного елемента інформаційного простору e_{b_i} , що подається на вхід інформаційного простору та вже існуючого в інформаційному просторі елемента e_j . Таким чином для кожного вхідного елемента інформаційного простору e_{b_i} є два можливі варіанти: 1) якщо $T_{ij} = T_i \cap T_j$ не співпадає з набором параметрів e_{b_i} та e_j , то такий вхідний елемент вважається новим і включається до інформаційного простору IS , при цьому додаються зв'язки Z_{ij} між новим елементом та вже існуючими; 2) якщо $T_{ij} = T_i \cap T_j$ співпадає з набором параметрів e_{b_i} та e_j , то такий вхідний елемент вважається ідентифікованим і не включається до інформаційного простору IS .

Таким чином однозначно представляється кожен елемент інформаційного простору в інформаційному просторі.

Розглянемо процес відновлення параметрів елементів інформаційного простору. Для цього необхідно виконати послідовність кроків:

Крок 1. Представити кожен елемент інформаційного простору e у вигляді окремого вузла в інформаційному просторі $e_1 \neq e_2 \neq \dots \neq e_m$.

Крок 2. Побудувати для кожного елемента інформаційного простору матрицю параметрів t_φ , що складається з параметрів елемента інформаційного простору e_i ($i = 1, \dots, m$).

Крок 3. Визначити елемент інформаційного простору, з яким втрачено зв'язок і відновити його параметри.

Крок 4. Побудувати на основі взаємозв'язків матрицю взаємодії відновлюваного елемента інформаційного простору e_q з іншими елементами інформаційного простору e_i .

Крок 5. Визначити вид топології зв'язків між елементами інформаційного простору.

Крок 6. Обчислити вектор V_q відновлення параметрів для відновлюваного елемента інформаційного простору e_q з урахуванням вагових коефіцієнтів довіри на основі визначеної топології.

Відповідно до описаного методу на рис.1 зображено схему відновлення параметрів елементів інформаційного простору в інформаційному просторі IS .

Даний метод ефективно застосовується для відновлення відсутніх параметрів елемента інформаційного простору в інформаційному просторі.

Розглянемо процес ідентифікації вхідних елементів інформаційного простору в інформаційному просторі за його відповідними параметрами.

Інформація про зовнішні джерела інформації інформаційного простору надходить шляхом зчитування її за допомогою сенсорів і представляється у вигляді набору значень ознак. Тобто, зовнішні джерела інформації – це вхідні елементи інформаційного простору $e_{b_1}, e_{b_2}, \dots, e_{b_i}$.

Для ідентифікації вхідних елементів інформаційного простору необхідно виконати наступні кроки:

Крок 1. Формується інформаційний простір, який складається з множини E елементів інформаційних просторів e_1, e_2, \dots, e_m , кожен з яких характеризується набором параметрів t_1, t_2, \dots, t_k . Крім того, $e_1 \neq e_2 \neq \dots \neq e_m$. При цьому інформаційний простір постійно оновлюється та перебуває в режимі навчання, бо процедура навчання є розпізнаванням вхідних елементів без прив'язки до конкретного, тобто формуванням самого інформаційного простору.

Крок 2. Формування передісторії взаємодії елементів інформаційного простору. Для цього встановлюються зв'язки між елементами інформаційного простору як наявність інформації про параметри іншого елемента інформаційного простору в результаті їх взаємодії. Зв'язки описують траєкторію взаємодії. Від елемента інформаційного простору можна дізнатися інформацію про взаємодію з іншими об'єктами і якщо так, то чи є в траєкторії його взаємодії необхідний параметр.

Крок 3. Зчитування параметрів t_φ вхідного елемента інформаційного простору e_{b_i} . Сенсори зчитують на вході системи параметри вхідного елемента e_{b_i} і коли відбувається однозначна ідентифікація цього об'єкта, то значення його ознак додаються в пам'ять відповідних параметрів елемента інформаційного простору. З множини значень кожного параметра, визначаються статистичні характеристики, які описують цей параметр – математичне очікування M та дисперсія D , і чим більше вхідних елементів ідентифікується інформаційним простором, тим більш точними вони стають. Якщо сенсори не можуть зчитати дані або не беруть до уваги деякі ознаки, то їх значення NULL.

Крок 4. Порівняння. Якщо значення кожного параметра $t_{j\varphi}$ вхідного елемента e_{b_i} потрапляє в допустимий інтервал значень для відповідного параметра певного елемента інформаційного простору, тобто $M_{j\varphi} - D_{j\varphi} < t_{j\varphi} < M_{j\varphi} + D_{j\varphi}$, то інформаційний простір однозначно ідентифікує вхідний елемент і $e_{b_i} = e_j$. Інформаційний простір повинен однозначно відповісти на питання про те, чи є в ньому елемент з такими значеннями параметрів чи його немає і буде сформований новий елемент інформаційного простору.

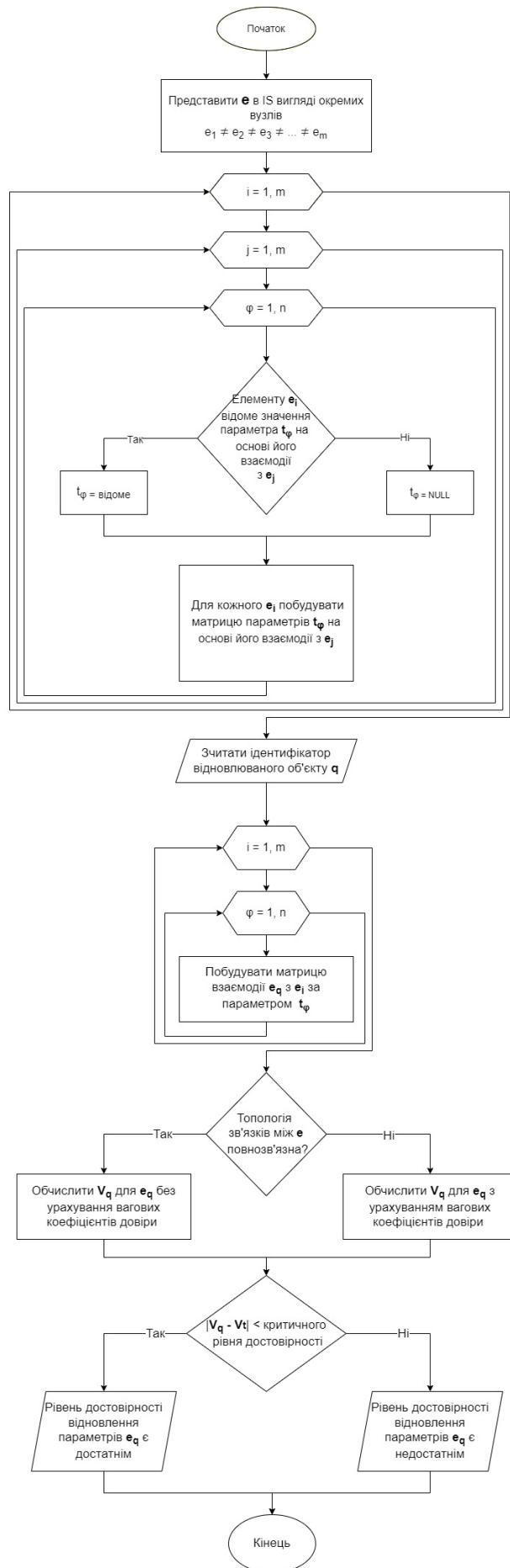


Рисунок 1 – Блок-схема відновлення параметрів елементів інформаційного простору

Крок 5. Уточнення. Для уточнення відсутніх ознак вхідного елемента e_{b_i} відбувається повторне зчитування ознак цього елемента сенсорами. Якщо вдалося зчитати, то ознака відома, якщо ні, то відбувається пошук відсутньої ознаки.

Крок 6. Знаходження відсутніх ознак. Якщо ознак вхідного елемента e_{b_i} не вистачає, то потрібно запросити бажані відсутні параметри опираючись на зв'язки з іншими елементами інформаційного простору та їх так би мовити «глобальну пам'ять». Тобто, всі траєкторії взаємодії розміщуються в єдиному сховищі даних з якого і відшукуються відсутні ознаки.

Крок 7. Виведення результату. Якщо вхідний елемент інформаційного простору відповідає критеріям пошуку, тобто співпадає із вже наявним, то відбувається виведення цього елемента, якщо ж – ні, то цей елемент вважається новим.

Крок 8. Оновлення інформаційного простору. Вхідний елемент e_{b_i} інформаційного простору додається до інформаційного простору IS в якості нового елемента e_{m+1} інформаційного простору лише в тому випадку, якщо значення всіх його параметрів є відомими.

На рис.2 наведено схему методу ідентифікації вхідних елементів.

Адекватність викладеного методу перевірено за допомогою методів машинного навчання. Вхідна вибірка даних для алгоритму ідентифікації містить множину елементів інформаційного простору e_1, e_2, \dots, e_m , кожен з яких має набір параметрів t_1, t_2, \dots, t_k , і набору вхідних елементів $e_{b_1}, e_{b_2}, \dots, e_{b_i}$ ставиться у відповідність набір міток інформаційних елементів e'_1, e'_2, \dots, e'_m , якими мають бути ідентифіковані вхідні елементи. Вибірка даних $\{(e_{b_1}, e_{b_2}, \dots, e_{b_i}), (e'_1, e'_2, \dots, e'_m)\}$ розділена на навчальний набір та тестовий набір. Навчання моделі відбувається з використанням навчального набору і випробується з використанням тестового набору. Помилка узагальнення, що являє собою частоту помилки на нових об'єктах, оцінена шляхом випробування моделі на тестовому наборі. Пропуски у вхідних наборах елементів позначимо NONE. Для коректної роботи системи ідентифікації на основі машинного навчання здійснено первинну обробку даних. Для цього встановлено значення NONE в нуль. Використання середнього або медіани в даному випадку є недоцільним через велику кількість об'єктів та неоднозначність класифікації між ними з деяким встановленим значенням та значенням NONE. Використаємо поліноміальну логістичну регресію для ідентифікації елемента інформаційного простору, який задається вектором параметрів t_k .

Багатозмінна логістична регресійна модель спочатку вираховує суму очок $sum_m(e_{b_i}) = (Y^{(m)})^W \cdot e_{b_i}$ вхідного елемента e_{b_i} для кожного елемента інформаційного простору e_m , де $Y^{(m)}$ – вектор параметрів, що є рядком матриці параметрів Y . Застосовуючи до сум очок багатозмінну логістичну функцію оцінюється ймовірність

$$p_m = \omega \left(sum_m(e_{b_i}) \right)_m = \frac{e^{sum_m(e_{b_i})}}{\sum_{j=1}^M e^{sum_j(e_{b_i})}}$$

де $e^{sum_m(e_{b_i})}$ – вектор сум очок кожного e_m для вхідного елемента e_{b_i} , $\omega \left(sum_m(e_{b_i}) \right)_m$ – оціночна ймовірність, того що e_{b_i} може бути однозначно ідентифікованим з e_m , M – кількість елементів інформаційного простору. Ймовірність p_m розраховується для кожного елемента інформаційного простору для вхідного елемента e_{b_i} і таким чином ідентифікується вхідний елемент.

На основі багатозмінної логістичної регресії класифікатор прогнозує клас з найбільшою ймовірністю $\delta = \arg \max \omega \left(sum_m(e_{b_i}) \right)_m$.

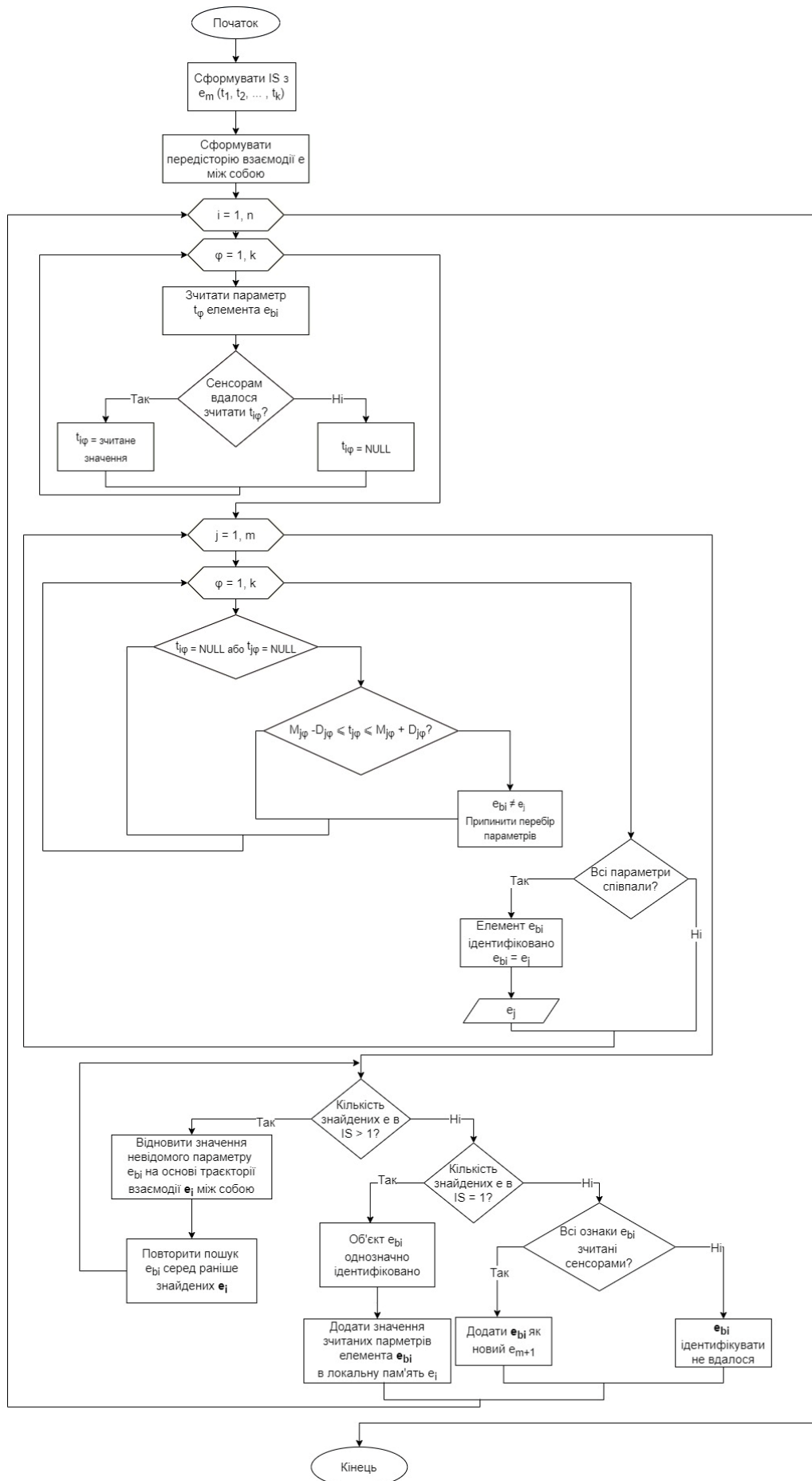


Рисунок 2 – Блок-схема ідентифікації вхідних елементів в інформаційному просторі

Отримана модель дає оцінку у вигляді високої ймовірності для цільового елементу інформаційного простору і низьку ймовірність для інших. Для цього використано перехресну ентропію, тобто мінімізацію функції витрат

$$L(Y) = -\frac{1}{i} \sum_{j=1}^i \sum_{m=1}^M \delta_m^{(j)} \log(p_m^{(j)}),$$

штрафує модель, коли вона дає оцінку у вигляді низької ймовірності для цільового елементу. Значення $\delta_m^{(j)}$ дорівнює 1, якщо цільовим для j -го вхідного елементу є m , у решті випадків $\delta_m^{(j)} = 0$. Вектор-градієнт функції втрат у відношенні $Y^{(m)}$ розраховується для кожного елементу інформаційного простору за формулою

$$\Delta_{Y^{(m)}} L(Y) = \frac{1}{i} \sum_{j=1}^i (p_m^{(j)} - \delta_m^{(j)}) e_{b_j},$$

після чого застосовувався градієнтний спуск для знаходження матриці параметрів Y , яка мінімізує функцію витрат.

Висновки. У роботі розглядаються елементи інформаційного простору, їх параметри і зв'язки, які утворюють єдиний інформаційний простір виробничого підприємства з критичною інфраструктурою. Елементи інформаційного простору представлено у вигляді окремих вузлів із встановленими зв'язками за повнозв'язною топологією.

Описано алгоритм відновлення параметрів атомарних елементів інформаційного простору в єдиному інформаційному просторі та алгоритм ідентифікації вхідних атомарних елементів інформаційного простору в єдиному інформаційному просторі. В основі останнього лежить покроковий аналіз ознак об'єкту із використанням запитів до нього з метою надання можливості прийняття рішень для його ідентифікації. Переверено за допомогою методів машинного навчання спосіб ідентифікації вхідного елемента інформаційного простору в інформаційному просторі.

У подальших дослідженнях планується розглянути відновлення параметрів в єдиному інформаційному просторі за топологій іншого типу.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Mikhailov N.S. Model of a single information space of industrial enterprise. Advanced national information systems and technologies. *Materials of V interregional scientific-practical conference*. Sevastopol. 2019. Pp. 146-149.
2. Maciaszek L.A. Managing Complexity of Enterprise Information Systems. In: Seruca I., Cordeiro J., Hammoudi S., Filipe J. (eds). *Enterprise Information Systems VI*. Springer, Dordrecht. 2006. Pp. 30-36.
3. Собчук В.В. Методика створення єдиного інформаційного простору на виробничому підприємстві з функціонально стійким виробничим процесом. *Наукове періодичне видання «Системи управління, навігації та зв'язку»*. 2019. Вип. 6 (58). С. 84-91.
4. Valentyn Sobchuk, Iryna Zamrii, Hanna Vlasyk and Yulianna Tsvietkova. Strategies for Control Automated Production Centers to Ensure the Functional Stability of Enterprise Information Systems. *2021 IEEE 3th International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT)*. 2021. Pp. 61-66.
5. Завгородній В.В., Щербак С.С. Единое информационное пространство производственных предприятий на основе связанных данных. *Системи обробки інформації*. 2013. № 2. С. 275–278.
6. Nikolai S. Mikhailov, Anna S. Mikhailo, Viktor V. Kasatkin. Approach to Construction of Common Information Space of Manufacturing Enterprise. *International Conference on Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies (IT&QM&IS)*. 2020. Pp. 385-390.
7. Liam Bannon, Susanne Bodker. Constructing Common Information Spaces. *Proceedings of the Fifth European Conference on Computer Supported Cooperative Work*. Springer, Dordrecht. 1997. Pp. 81–96.
8. Завгородній В.В. Відновлення параметрів інформаційних об'єктів у єдиному інформаційному просторі за повнозв'язної топології. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського*. 2021. Том 32 (71) № 3. С. 90-95.
9. Gershkovich, M.M., & Biryukova, T.K. The tasks of identification of informational objects in area-spread data arrays. *Systems and Means of Informatics*. 2014. № 24(1). Pp. 224–243.

10. Biloshchytskyi, A., Kuchansky, A. Yu, Biloshchytska, S., Kuzka, Ye.S., Lyashchenko, T. A method for the identification of scientists' research areas based on a cluster analysis of scientific publications. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017, 5(2 (89)), Pp. 4–11.

11. Arenas, M., Grau, B. C., Kharlamov, E., Marciuška, Š., Zheleznyakov, D. Faceted search over RDF-based knowledge graphs. *Journal of Web Semantics*. 2016. № 37. Pp. 55–74.

12. Arenas, M., Grau, B. C., Kharlamov, E., Marciuska, S., & Zheleznyakov, D. Enabling Faceted Search over OWL 2 with SemFacet. *In OWLED*. 2014. Pp. 121–132.

13. Dodonov, A., Mukhin, V., Zavgorodnii, V., Kornaga, Ya., Zavgorodnya A. Method of searching for information objects in unified information space. *System research and information technologies*. 2021. № 1. Pp. 34–46.

14. Засядько А.А. Восстановление параметров объектов информационного обеспечения автоматизированных систем управления на основе дифференциально-нетейлоровских преобразований. *Системи обробки інформації*. 2015. Вип. 4. С. 20–23.

15. Berkman L., Barabash O., Tkachenko O., Musienko A., Laptiev O. and Salanda I. The Intelligent Control System for infocommunication networks. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research (IJETER)*. 2020. Vol. 8, No. 5. P. 1920 – 1925.

REFERENCES:

1. Mikhailov N.S. (2019) Model of a single information space of industrial enterprise. Advanced national information systems and technologies. *Materials of V interregional scientific-practical conference*. Sevastopol. pp. 146-149.

2. Maciaszek L.A. (2006) Managing Complexity of Enterprise Information Systems. In: Seruca I., Cordeiro J., Hammoudi S., Filipe J. (eds). *Enterprise Information Systems VI*. Pp. 30-36.

3. Sobchuk V.V. (2019) “Metodyka stvorennia yedynoho informatsiinoho prostoru na vyrobnychomu pidpriemstvi z funktsionalno stiikym vyrobnychym protsesom” [Methods of creating a single information space at a production enterprise with a functionally stable production process]. *Naukove periodychnye vydannia «Systemy upravlinnia, navihatsii ta zviazku»*. Vip. 6 (58). Pp. 84-91.

4. Valentyn Sobchuk, Iryna Zamrii, Hanna Vlasyk and Yulianna Tsvietkova. (2021) Strategies for Control Automated Production Centers to Ensure the Functional Stability of Enterprise Information Systems. *2021 IEEE 3th International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT)*. pp. 61-66.

5. Zavhorodnyi V.V., Shcherbak S.S. (2013) “Edynoe ynformatsyonnoe prostranstvo proyzvodstvennykh predpriyatiy na osnove svyazannykh dannakh” [A single information space for manufacturing enterprises based on linked data]. *Systemy obrobky informatsii*. № 2. С. 275–278.

6. Nikolai S. Mikhailov, Anna S. Mikhailo, Viktor V. Kasatkin. (2020) Approach to Construction of Common Information Space of Manufacturing Enterprise. *International Conference on Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies (IT&QM&IS)*. Pp. 385-390.

7. Liam Bannon, Susanne Bødker. (1997) Constructing Common Information Spaces. *Proceedings of the Fifth European Conference on Computer Supported Cooperative Work*. Pp. 81–96.

8. Zavhorodnii V.V. (2021) “Vidnovlennia parametriv informatsiinykh ob'ektiv u yedynomu informatsiinomu prostori za povnozviaznoi topolohii” [Restore the parameters of information objects in a single information space with a fully connected topology]. *Vcheni zapysky TNU imeni V.I. Vernadskoho*. 32 (71) № 3. Pp. 90-95.

9. Gershkovich, M.M., & Biryukova, T.K. (2014) The tasks of identification of informational objects in area-spread data arrays. *Systems and Means of Informatics*. № 24(1). Pp. 224–243.

10. Biloshchytskyi, A., Kuchansky, A. Yu, Biloshchytska, S., Kuzka, Ye.S., Lyashchenko, T. (2017) A method for the identification of scientists' research areas based on a cluster analysis of scientific publications. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 5(2 (89)), Pp. 4–11.

11. Arenas, M., Grau, B. C., Kharlamov, E., Marciuška, Š., Zheleznyakov, D. (2016) Faceted search over RDF-based knowledge graphs. *Journal of Web Semantics*. № 37. Pp. 55–74.

12. Arenas, M., Grau, B. C., Kharlamov, E., Marciuska, S., Zheleznyakov, D. (2014) Enabling Faceted Search over OWL 2 with SemFacet. *In OWLED*. Pp. 121–132.

13. Dodonov, A., Mukhin, V., Zavgorodnii, V., Kornaga, Ya., Zavgorodnya A. (2021) Method of searching for information objects in unified information space. *System research and information technologies*. № 1. Pp. 34–46.

14. Zasiadko A.A. (2015) “Vosstanovlenie parametrov ob'ektov informatsionnogo obespecheniya avtomatizirovannykh sistem upravleniya na osnove differentsialno-neteylorovskikh preobrazovaniy”

[Restoration of parameters of information support objects of automated control systems based on differential non-Taylor transformations]. *Systemy obrobky informatsii*. № 4. Pp. 20–23.

15. Berkman L., Barabash O., Tkachenko O., Musienko A., Laptiev O. and Salanda I. (2020) The Intelligent Control System for infocommunication networks. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research (IJETER)*. Vol. 8, No. 5. P. 1920 – 1925.

**PhD Zamrii I.V., Doctor of Technical Science Sobchuk V.V.,
Barabash A.O.**

**IDENTIFICATION OF INPUT ELEMENTS OF INFORMATION SPACE AND
RESTORATION OF THEIR PARAMETERS IN THE SINGLE INFORMATION SPACE OF
MANUFACTURING ENTERPRISE WITH CRITICAL INFRASTRUCTURE**

Modern production is impossible to imagine without integrated data management information systems that ensure the stability of technological, financial, logistical and other processes. The concept is based on the construction of a single information space based on advanced information technologies. One of the key aspects of building a single information space of the enterprise is the integration of automated systems of all divisions of the enterprise into a single information space. The implementation of such a concept is the key to improving the efficiency of production processes, reducing the time of development and launch of new products, increasing the total output. Moreover, it happens with the simultaneous deep integration of project teams of different departments into a single highly professional team of the company, which aims to achieve a common goal. This approach requires appropriate transformations of the information space of the enterprise.

The paper considers the elements of the information space, their parameters and relationships that form a single information space of a manufacturing enterprise with critical infrastructure. The elements of the information space are presented in the form of separate nodes with established connections in a fully connected topology.

The algorithm for restoring the parameters of atomic elements of the information space in a single information space and the algorithm for identifying the input atomic elements of the information space in a single information space are described. The latter is based on a step-by-step analysis of the features of the object using queries to enable it to make decisions to identify it. The method of identification of the input element of the information space in the information space has been tested with the help of machine learning methods.

Keywords: single information space, information system, parameters of elements of the information space, identification.

ФОРМАЛІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ УПРАВЛІННЯ ПЕРЕДАЧЕЮ ПОТОКІВ ТРАФІКУ НА ФРАГМЕНТІ МЕРЕЖІ LTE

В умовах швидкого зростання трафіку мобільного передавання даних, популярності Інтернету речей (Internet of Things, IoT) та міжмашинної взаємодії (Machine-to-Machine, M2M), оператори мобільного зв'язку постійно працюють над покращенням якості надання послуг, розвиваючи мережі 4G в напрямку майбутніх програмно-конфігурованих гетерогенних мереж 5G. Зв'язок четвертого покоління почали розробляти ще в 2000 році. В цей час вже з'явився стандарт 3G. Дослідження в галузі зв'язку показали, що з усього різноманіття технологій і стандартів 4G прийнятними для розгортання можуть бути тільки два: LTE і мобільна версія WiMAX, LTE спочатку розроблявся у вигляді доповнення до стільникових мереж 3G. На сьогоднішній день можна відзначити бурхливе зростання обсягу трафіку в мережах рухомого зв'язку 4 покоління, і щоб забезпечити необхідну швидкість всім своїм абонентам, операторам доводиться шукати різні методи щодо підвищення швидкості передачі даних або щодо підвищення ефективності використання частотного ресурсу. На відміну від 4G, новітні мережі 5G мають більш широкі сфери застосування. У зв'язку з цим, до основних завдань сучасних безпроводних мереж відноситься оптимізація розподілу обмеженої кількості частотно-часового ресурсу між користувачами та пристроями Інтернету речей за критерієм якості обслуговування. Метою створення концептуальної моделі наступного покоління 5G можна назвати нароцкування можливостей високошвидкісних систем мобільного зв'язку, зменшення вартості передачі даних, розширення спектра послуг, що надаються. На планування мережі 5G може вплинути цілий ряд факторів, обумовлених принциповою особливістю цієї технології. Крім пропускну здатності, важливою характеристикою системи є імовірність бітової помилки, яка впливає на використовувані алгоритми модуляції та кодування. Тому необхідно постійно підтримувати баланс між цими двома важливими для користувача характеристиками. Цього можна досягти за рахунок удосконалення методів та моделей розподілу ресурсів, а також ефективного планування мережі.

Ключові слова: Мобільний зв'язок, LTE, концептуальна модель, 5G, MM3, QoS.

Вступ. Розвинуте і стабільне інформаційне суспільство характеризується можливістю та спроможністю держави створювати умови для вільного доступу своїх громадян до інформаційних ресурсів, та умінням захищати національні інформаційні ресурси, інтереси особи, суспільства та держави в цілому від внутрішнього і зовнішнього негативного впливу.

При цьому, у сфері захисту інформаційних ресурсів необхідно забезпечувати надійне, безпечне функціонування національної інформаційної інфраструктури та її подальший ефективний розвиток. Існуюча парадигма класичного технічного захисту інформації полягає в забезпеченні збереження заданих властивостей інформації та інформаційно-телекомунікаційної системи, а саме: конфіденційності й цілісності інформації, доступності ресурсу системи, цілісності і спостережності інформаційно-телекомунікаційної системи. Класична система технічного захисту інформації заснована, головним чином, на автономності і локальності інформаційних ресурсів інформаційної системи.

У міру зростання користувачів мобільного інтернету і постійно зростаючої потреби мати можливість мобільного ширококутного доступу (ШСД) не тільки в домашніх умовах або, скажімо на робочому місці, а в будь-якій точці знаходження сучасного користувача інтернету, мобільний ШСД стає з кожним днем більш поширеним [1,2].

Для ефективного планування мережі та підвищення якості надання послуг у мережах 5G на основі підвищення ефективності розподілу ресурсів та удосконалення необхідно виконати планування 5G мережі, що включає вимірювання параметрів та детальне планування мережі.

Загальна концептуальна модель. Під концептуальною моделлю будь-якої системи слід розуміти її абстрактну модель, яка визначає структуру та властивості її елементів, а також враховує вхідні, вихідні параметри, зовнішні фактори та керуючий вплив. Така модель в самому загальному вигляді визначається залежністю [1]:

$$Y^k = f(X^k(t), W^k(t), U^k(t), O^k(t)), \quad (1)$$

де Y^k - вихідні параметри системи, яка складається з k класів елементів;

X^k - вхідні параметри;

W^k - параметри внутрішнього стану;

U^k - параметри керованого впливу;

O^k - параметри зовнішніх факторів.

Всі параметри можуть змінюватися за часом t .

Будь-яка система зв'язку в загальному вигляді є розподіленою в просторі технічною системою з програмно-технічними засобами обробки та обміну інформації (підсистемами). Мережа мобільного зв'язку (ММЗ) не є виключною.

Наприклад, для ММЗ стандарту LTE на вході такої системи знаходяться пристрої UE (UserEquipment), внутрішній стан описується ядром мережі, керований вплив забезпечується в вузлах eNodeB, керувати необхідне і потоками, і ресурсами, зовнішніми факторами звично є інтерференція, багатоприменеве відбиття сигналів, згасання сигналу та інші, вихідними параметрами системи будуть значна кількість показників якості обслуговування.

Концептуальна модель ММЗ може бути побудована як для загальної системи, так і для окремих її елементів. Так, у роботі пропонується підхід щодо побудови концептуальної моделі мережі мобільного зв'язку, яка дасть змогу забезпечити адаптивне управління ресурсами та окремими інформаційними потоками з метою гарантування наскрізної якості обслуговування в умовах тимчасової нестачі спектральних ресурсів та нестабільності радіоканалу.

Дана модель базується на використанні методу оптимального розподілу радіоресурсів. Проте, визнається, що запропоновані рішення стосуються лише розподілу ресурсів на рівні базової станції так званому каналному рівні з метою раціонального використання ресурсів для забезпечення якості обслуговування в межах архітектури LTE.

Насправді гарантування якості обслуговування з кінця в кінець мобільний оператор не може, оскільки вихід пакетних даних за межі рівня LTE ядра мережі, а саме у рівень зовнішніх IP-орієнтованих мереж не забезпечує жодних гарантій щодо якості обслуговування, це пов'язано з тим що політика управління інформаційними потоками в вузлах мережі (маршрутизатори) базується на окремих методах забезпечення QoS, до яких оператор мобільного зв'язку немає жодного впливу.

Вхідні параметри. Вектор вхідних параметрів X^k може бути заданий набором агрегатів, наприклад [1]:

$$X^k = [Q^{k,q}, y_{ij}^m], \quad (2)$$

де $Q^{k,q}$ - кількість термінальних систем k -го класу трафіку q -го типу;

y_{ij}^m - інтенсивність викликів між вузлами i та j мережі.

Параметри внутрішнього стану. Вектор параметрів внутрішнього стану W^k може бути заданий набором агрегатів, наприклад [3]:

$$W^k = [G, Z, H_h^k, V_{ij}, P_{ij}], \quad (3)$$

де G - тип структури мережі зв'язку, де
 Z - властивості системи зв'язку;
 H_h^k - типи протоколів зв'язку;
 V_{ij} - швидкість передачі;
 p_{ij} - вірогідність похибки передачі.

Структура мережі зв'язку G описується агрегатом

$$G = [G^*, U_s], \quad (4)$$

де G^* - множина структур функціональних підсистем;
 U_s - множина зв'язків між функціональними підсистемами.

Відокремлюють [4] сім типів структур G^* :

$$G^* = [G_d, G_f, G_a, G_m, G_v, G_p, G_g], \quad (5)$$

де G_d - структура дій;
 G_f - структура функцій;
 G_a - структура абстрактна;
 G_m - структура морфологічна;
 G_v - структура варіантна;
 G_p - структура просторова;
 G_g - структура геометрична.

Властивості системи зв'язку Z визначаються властивостями її структурних складових Z^i , які можуть значно відрізнятися від властивостей системи зв'язку в цілому.

Параметри керованого впливу. Параметрами керованого впливу можуть бути показники керованості та спостережуваності (моніторингу). Параметри керованого впливу відображають тип системи адміністрування системи зв'язку, у т.ч. системи керування безпекою:

$$U^k = [A^k, S^k_h(M_h)], \quad (6)$$

де A^k - характеризує систему керування мережею;
 $S^k_h(M_h)$ - базові S - послуги безпеки, які реалізуються M - механізмами захисту на h - рівні логічної структури [5].

Параметри зовнішніх факторів. O^k - це фізичний або технологічний процес внутрішнього або зовнішнього характеру, який може порушити функціонування елементів мережі: інформаційний вплив на обладнання мережевих вузлів, електромагнітний вплив на радіоканал та ін. Дуже часто в сучасних мережах мобільного зв'язку, зокрема у радіо сегменті виникає ситуація при якій виникають короточасні відмови каналу за рахунок тимчасового погіршення відношення сигнал/шум різними зовнішніми факторами, інтерференція, багатопроменева відбиття сигналів, затухання сигналу та інші, що значно впливає на якість обслуговування.

Вихідні параметри системи. Вихідними параметрами Y^k концептуальної моделі мереж мобільного зв'язку, наприклад стандарту LTE, можуть бути параметри якості обслуговування QoS:

1. Тип виділеного ресурсу: з гарантованою швидкістю передачі даних (GBR) або з негарантованою швидкістю передачі (Non-GBR);
2. Параметри QoS:
 - QCI (QoS Class Identifier) - ідентифікатор класу якості обслуговування.

- ARP (Allocation and Retention Priority) - пріоритетність призначення і утримання каналів.
- GBR (Minimum Guaranteed Bit Rate) - гарантована швидкість передачі.
- MBR (Maximum Bit Rate) - максимальна швидкість передачі.
- APN-AMBR (Access Point Name Aggregate Maximum Bit Rate) – загальна максимальна швидкість передачі для однієї точки доступу.
- UE-AMBR (User Equipment Aggregate Maximum Bit Rate) – загальна максимальна швидкість передачі для одного користувачького обладнання [2,4].

Зупинимося на цих параметрах більш детально. Для кожного віртуального з'єднання повинні бути визначені такі параметри, як ідентифікатор класу якості обслуговування (QCI) і пріоритетність призначення і утримання каналів (ARP). Параметр QCI є дуже важливим, оскільки служить довідковою інформацією у визначенні рівня QoS для кожного наскрізного каналу EPS. У разі смуги пропускання (бітрейта) GBR і MBR визначаються тільки в потоках EPS з гарантованою швидкістю передачі даних, тоді як AMBR (APN-AMBR і UE-AMBR) визначаються тільки в потоках EPS з негарантованою швидкістю. Нижче ми пояснимо окремо кожен з параметрів QoS в LTE-мережі.

Тип ресурсу GBR (з гарантованою швидкістю передачі даних):

Наявність типу ресурсу GBR в віртуальному з'єднанні EPS означає, що пропускна здатність каналу зв'язку гарантована. Очевидно, GBR-тип потоку EPS має пов'язану гарантовану швидкість даних (що буде пояснено нижче) як один з параметрів QoS.

Тільки виділений тип віртуальних з'єднань може бути GBR-поток, а тип EPS за замовчуванням ним не може бути. Ідентифікатор QoS EPS-потoku з гарантією швидкості передачі даних може знаходитися в діапазоні від 1 до 4.

Тип ресурсу Non-GBR (з негарантованою швидкістю передачі даних): Для віртуального з'єднання EPS тип non-GBR означає виділення ресурсів за принципом «краще з можливого» (best effort), а пропускна здатність з'єднання не гарантовано. Віртуальне з'єднання за замовчуванням завжди є потоком з негарантованою швидкістю передачі, в той час як виділене віртуальне з'єднання може бути як потоком з гарантованою, так і з негарантованою швидкістю передачі. Ідентифікатор QoS EPS-потoku без гарантованої швидкості передачі даних може знаходитися в діапазоні від 5 до 9.

Параметр QCI, ціле число від 1 до 9, вказує на 9 різних робочих характеристик QoS кожного IP-пакета. Значення QCI є стандартизованими для окремих вихідних характеристик QoS, і кожен QCI містить такі стандартні робочі характеристики (значення):

Якість обслуговування, що гарантується для наскрізного каналу EPS або логічного потоку даних, змінюється в залежності від зазначених значень QCI [3,5].

Параметр QCI, хоча це ціле число, являє собою специфічні вузлові параметри, які надають деталі щодо того, як вузол LTE управляє пересилкою пакетів (наприклад, параметрами зваженого планування, вхідними порогами, порогами черги, конфігурацією протоколу каналного рівня і т.д.) Визначаючи заздалегідь робочі характеристики кожного значення QCI і стандартизуючи їх, оператори мережі можуть гарантувати, що такий же мінімальний рівень QoS, який потрібно стандартами LTE, надається різним службам/додатків. Ці служби і додатки використовуються в мережі LTE, яка складається з різних вузлів. Значення QCI цілком ймовірно використовуються в основному eNB (базовими станціями мережі стандарту LTE) для контролю пріоритету пакетів, переданих через радіоканали. ARP розглядається тільки при прийнятті рішення, чи потрібно створювати новий наскрізний канал EPS чи ні. Після створення нового каналу і передачі через нього пакетів ARP не впливає на пріоритет отриманого пакета і, таким чином, мережевий вузол пересилає пакети незалежно від їх значень ARP. GBR (UL/DL) цей параметр використовується для віртуального з'єднання типу GBR і визначає ширину смуги пропускання (швидкість передачі даних в бітах), гарантовану LTE-мережею. Він не використовується для non-GBR потоку з негарантованою пропускною здатністю (UL для трафіку висхідної лінії зв'язку і DL для низхідної лінії зв'язку). MBR (UL/DL) MBR використовується для потоку типу GBR і визначає максимальну бітову

швидкість передачі даних, яка дозволена в LTE-мережі. Будь-які пакети, які надходять в наскрізний канал, відкидаються після того як зазначена швидкість MBR стає перевищеною.

Концептуальна модель мережі мобільного зв'язку. Таким чином, концептуальна модель мережі мобільного зв'язку в загальному випадку буде зайве громіздка, тому таку модель краще будувати для дослідження конкретної проблеми з обмеженим переліком параметрів. Так, наприклад, модель мережі мобільного зв'язку стандарту 5G може бути такою (рис.1).

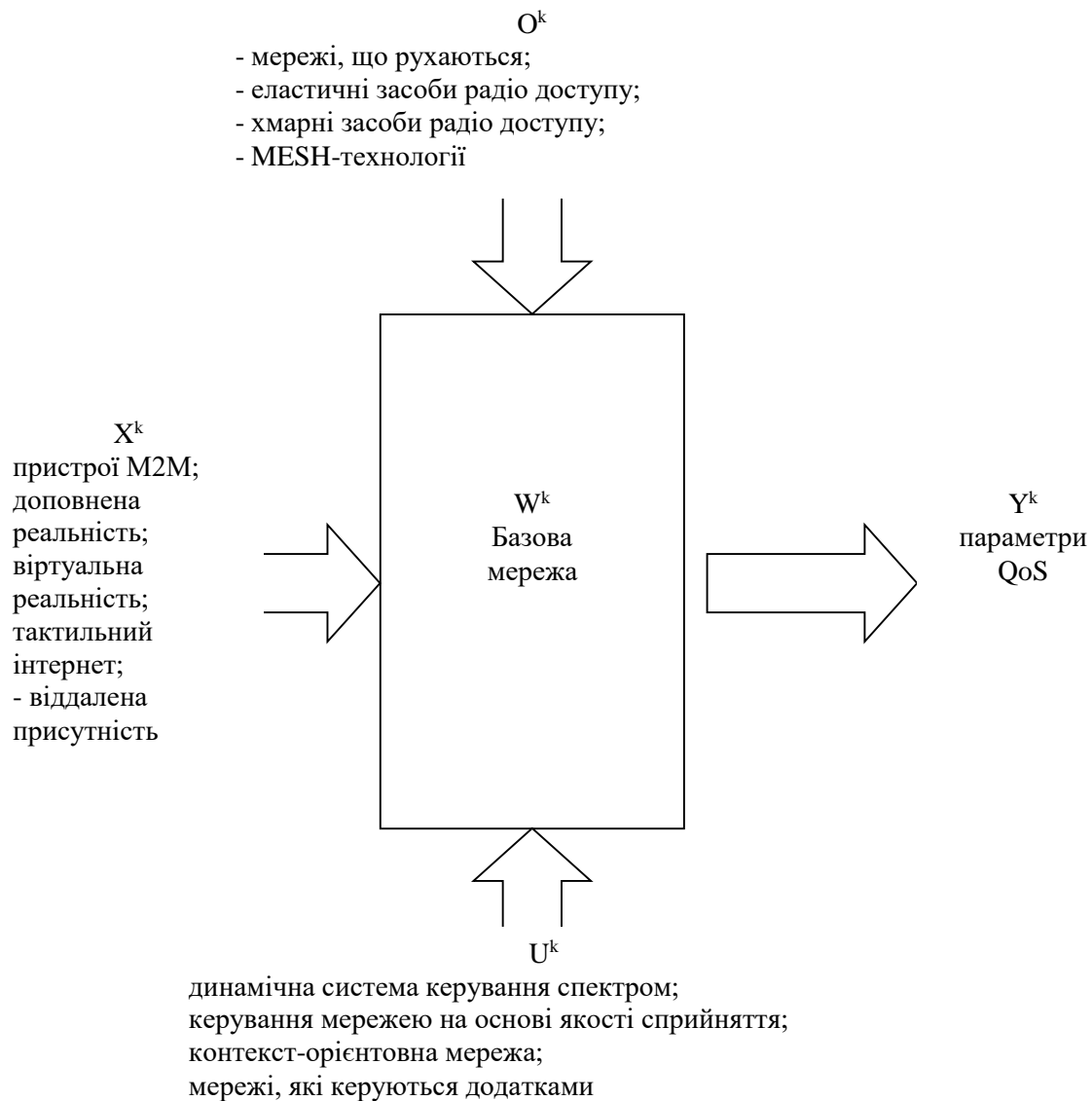


Рисунок 1 – Концептуальна модель мережі мобільного зв'язку стандарту 5G

Висновки. На даний момент мережа 5G не розвинена в Україні, тоді як потреби населення в високошвидкісному бездротовому доступі в Інтернет постійно зростають. 5G здатна найбільш повно задовольнити потреби і очікування абонентів мобільного зв'язку в нових сервісах. Запропонована концептуальна модель мережі мобільного зв'язку може бути застосована для розробки методології її подальшого розвитку.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Пылинский М.В., Мякотин А.В., Кривцов С.П., Байсаитов Г.Н. Концептуальна модель сети связи специального назначения. // Радиотехника и связь. Серия «Естественные и технические науки». - № 11. - 2018. – С.65-68.
2. Бешлей Г. В. Моделі та метод оптимального розподілу мережних ресурсів в програмно-конфігурованих гетерогенних мережах мобільного зв'язку: дис. ... доктора філософії: спец. 172. Львів: НУ «Львівська політехніка». - 2021. - 240 с.
3. Пирогов Ю.А. Методология исследования систем и сетей военной связи: Учебное пособие. – СПб.: ВАС, 2016. – 164 с.
4. Исаков Е.Е., Мякотин А.В., Губская О.А., Кривцов С.П. Оптимальная цифровизация военных систем связи // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия «Естественные и технические науки». - № 3-4. – 2017. – С.22-26.
5. Исаков Е.Е., Мякотин А.В., Жадан А.П., Кривцов С.П., Басулин Д.В. Оценка необходимых и достаточных значений реальной пропускной способности военных систем передачи информации. Информация и космос. // Радиотехника и связь. Серия «Естественные и технические науки». - 2017. – С.133-136.

REFERENCES:

1. Pylynsky M.V., Myakotin A.V., Krivtsov S.P., Baysaitov G.N. (2018). Conceptual model of a special purpose communication network. Radio engineering and communication. Natural and Technical Sciences Series. № 11. Pp.65-68.
2. Beshley G.V. (2021). Models and method of optimal distribution of network resources in software-configured heterogeneous mobile networks: dis. ... Doctor of Philosophy: special. 172. Lviv: Lviv Polytechnic National University. 240 p.
3. Pirogov Yu.A. (2016). Methodology for the study of military communication systems and networks: A textbook. Publ. .: ВАС, - 164 p.
4. Isakov E.E., Myakotin A.V., Gubskaya O.A., Krivtsov S.P. (2017). Optimal digitalization of military communication systems. Modern science: current issues of theory and practice. Natural and Technical Sciences Series. - № 3-4. Pp.22-26.
5. Isakov E.E., Myakotin A.V., Zhadan A.P., Krivtsov S.P., Basulin D.V. (2017). Estimation of necessary and sufficient values of real capacity of military information transmission systems. Information and space. Radio engineering and communication. Natural and Technical Sciences Series. Pp.133-136.

**PhD Qasim N. H., Doctor of Technical Science, Professor Khlaponin Y.I., Vlasenko M.M.
 FORMALIZATION OF THE PROCESS OF MANAGING THE TRANSMISSION OF
 TRAFFIC FLOWS ON A FRAGMENT OF THE LTE NETWORK**

With the rapid growth of mobile data traffic, the popularity of the Internet of Things (IoT) and machine-to-machine (M2M), mobile operators are constantly working to improve the quality of service, developing 4G networks in the direction of future software-configured heterogeneous 5G networks. The fourth generation of communication began to be developed in 2000. At this time, the 3G standard has already appeared. Research in the field of communications has shown that of all the variety of 4G technologies and standards, only two can be acceptable for deployment: LTE and the mobile version of WiMAX, LTE was originally developed as an adjunct to 3G cellular networks. Today, there is a rapid increase in traffic in 4th generation mobile networks, and to ensure the necessary speed for all their subscribers, operators have to look for different methods to increase data rates or to increase the efficiency of frequency resource use. Unlike 4G, the latest 5G networks have wider applications. Therefore, the main task of modern wireless networks is to optimize the distribution of a limited amount of frequency and time resources between users and devices of the Internet of Things on the basis of quality of service. The purpose of creating a conceptual model of the next generation of 5G can be called increasing the capabilities of high-speed mobile communication systems, reducing the cost of data transmission, expanding the range of services provided. The planning of the 5G network can be influenced by a number of factors due to the fundamental feature of this technology. In addition to bandwidth, an important characteristic of the system is the probability of bit error, which affects the modulation and coding algorithms used. Therefore, it is necessary to constantly maintain a balance between these two important characteristics for the user. This can be achieved by improving resource allocation methods and models, as well as effective network planning.

Key words: Mobile Communication, LTE, conceptual model, 5G, Mobile network, QoS.

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОПТИМАЛЬНОГО ПЛАНУВАННЯ БАГАТОФАКТОРНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ ЗА ВАРТІСНИМИ ТА ЧАСОВИМИ ПОКАЗНИКАМИ

Об'єктом дослідження є аналіз стану розвитку методів оптимального планування багатофакторного експерименту за вартісними та часовими показниками. Предметом дослідження є методи оптимізації планів багатофакторного експерименту за вартісними та часовими показниками. Мета: розробка практичних рекомендацій щодо застосування існуючих методів оптимізації планування експерименту за часовими та вартісними показниками на основі їхнього порівняльного аналізу. Завданнями є проведення порівняльного аналізу методів оптимізації планів багатофакторного експерименту за характеристиками: допустима кількість факторів для ефективної оптимізації, вид плану, точність методу, кількість критеріїв оптимізації, швидкодія; розробка практичних рекомендацій щодо використання цих методів; формування напрямів подальшого розвитку досліджуваної теми. Методи: метод порівняльного аналізу, методи оптимізації на основі вивчення природи, комбінаторні методи оптимізації, графові методи оптимізації, наближені методи оптимізації. Отримані результати. Проаналізовано 20 методів оптимізації планів багатофакторного експерименту за вартісними та часовими показниками. Надано 6 практичних рекомендацій щодо їхнього застосування у діапазоні кількості факторів $2 < k \leq 16$. Наукова новизна отриманих результатів полягає у вдосконаленні порівняльного аналізу існуючих методів оптимального планування багатофакторного експерименту, базуючись на основі 5 характеристик з точки зору експериментатора, а саме: допустимої кількості факторів для ефективної оптимізації, виду плану, точності методу, кількості критеріїв оптимізації; швидкодії. В подальшому планується дослідження класифікації методів оптимізації планів багатофакторного експерименту, розробка та удосконалення методів двокритеріальної оптимізації за вартісними та часовими характеристиками, аналіз швидкодії наближених методів оптимізації для $k > 7$ та їх удосконалення.

Ключові слова: планування багатофакторного експерименту, точні методи оптимізації, наближені методи оптимізації, критерій оптимізації, швидкодія, двокритеріальна оптимізація.

Вступ. Експериментальне дослідження – невід'ємна частина вивчення сучасних процесів, систем та моделей. Реалізація експерименту має бути ефективною в умовах постійного зростання апріорної кількості інформації та ускладнення економічної ситуації в світі. Це означає, що в результаті дослідження необхідно отримувати адекватні математичні моделі при мінімальних часових та вартісних витратах. Для вирішення цієї задачі застосовується оптимальне за вищевказаними показниками планування багатофакторного експерименту (БФЕ), що враховує нерівнозначність порядку його реалізації. Пошук плану найшвидшого за часом реалізації або найменшого за вартістю ускладнюється при зростанні кількості факторів.

Таким чином, створення методів оптимального планування багатофакторного експерименту за вартісними та часовими показниками є актуальним науково-практичним завданням, що потребує більш детального вивчення.

Аналіз останніх досліджень. В наукових публікаціях описано 20 методів оптимізації БФЕ за вартісними та часовими показниками.

До точних методів відносяться: метод аналізу перестановок (повний перебір) [1, 2]; метод гілок та меж [3 - 7]; метод оптимізації планів на основі серійних послідовностей [8]; комбінаторно-графовий метод [9].

Існують методи, що створені на основі вивчення природи, а саме: метод «стрибаючих жаб» для оптимального планування БФЕ [10]; метод мавп'ячого пошуку для оптимізації повного факторного експерименту [11]; метод пошуку «косяком риб» оптимальних планів

БФЕ [12]; метод рою частинок для оптимізації планів БФЕ [13, 14]; метод оптимального планування експерименту на основі генетичних алгоритмів (класичний, комірковий, острівна модель) [15, 16]; метод пошуку оптимальних планів БФЕ на основі мурашиних алгоритмів [17].

Іншими наближеними методами є: метод послідовного наближення для оптимізації композиційних планів [18]; композиційний метод побудови локальних оптимальних планів експерименту [19]; метод оптимального планування БФЕ на основі жадібного алгоритму [20]; метод імітації відпалу для оптимального планування БФЕ [21]; симплекс-метод для оптимального планування БФЕ [22]; метод випадкового пошуку для оптимального планування БФЕ [23]; метод синтезу оптимальних планів на основі коду Грея [24 - 29]; метод найближчого сусіда [30]; метод табу-пошуку [31]; метод вкладених розбивок [32].

Узагальнена методологія оптимального планування експерименту за часовими та вартісними показниками розроблена в роботі [19]. В наукових працях [33 - 36] проведено частковий порівняльний аналіз методів оптимізації планів багатofакторного експерименту. Найбільш повний аналіз існуючих методів оптимізації запропонований в роботі [37].

В роботах [38 - 40] зроблені спроби систематизувати програмно-апаратні засоби для реалізації вищеперерахованих методів.

Постановка задачі. Оскільки теорія оптимального планування експерименту за часовими та вартісними показниками продовжує розвиватися, то на сьогоднішній момент відсутній повний аналіз всіх існуючих методів та практичні рекомендації щодо їхнього використання при проведенні БФЕ.

Мета статті. На основі порівняльного аналізу існуючих методів оптимізації планування експерименту за часовими та вартісними показниками надати практичні рекомендації щодо їх застосування та визначити напрями подальшого удосконалення.

Методологія дослідження. Для того, щоб аналіз методів мав прикладне значення, доцільно використовувати критерії аналізу, що будуть давати адекватну оцінку для вибору перш за все експериментатору. Такий підхід, що акцентує увагу на потреби дослідника, дасть змогу в подальшому зробити класифікацію існуючих методів, покаже перспективу для розвитку теорії оптимального планування експерименту та дозволить надати конкретні практичні рекомендації щодо їх використання.

Основними критеріями для оцінки та вибору експериментатором методу оптимізації є:

допустима кількість факторів для ефективної оптимізації ($k > 3$; $k \leq 3$);

вид плану (повний факторний експеримент [ПФЕ]; дробний факторний експеримент [ДФЕ]; ортогональний центральний композиційний план [ОЦКП]; ротатабельний центральний композиційний план [РЦКП]);

точність методу (точний, наближений);

можливість двокритеріальної оптимізації (з обмеженням на другий критерій, середньозважений тощо);

швидкодія.

Виклад основного матеріалу. Проведемо аналіз існуючих методів на основі вищевказаної методології.

1. Метод аналізу перестановок (повний перебір). Метод передбачає перебір варіантів планів експерименту, що передбачає перестановку рядків початкового плану експерименту. Здійснюючи повний перебір усіх перестановок можна знайти оптимальний план з мінімальною вартістю чи часом реалізації [2].

Загальна кількість варіантів планів розраховується за формулою

$$n = N! = a^k! \quad (\text{при ПФЕ}), \quad (1)$$

де n – загальна кількість варіантів планів;

N – кількість дослідів;

a – кількість рівнів факторів;

k – кількість факторів.

Переваги методу: простота реалізації методу; абсолютно точний; можна використовувати для багаторівневих планів за умовою $N \leq 8$.

Недоліки методу: працездатність методу ефективна для планів з дворівневими значеннями факторів та $k \leq 3$ для ПФЕ та $N \leq 8$ для ДФЕ; однокритеріальна оптимізація.

2. Метод гілок та меж. Метод дозволяє послідовно цілеспрямовано перебирати сукупність можливих планів експерименту та в подальшому розглядати тільки ті, що є найперспективнішими за обраними характеристиками. При цьому множина планів, що не відповідає встановленим параметрам, відкидається. Процес триває, поки не буде знайдено оптимальний за заданим критерієм план експерименту [41].

Загальна кількість варіантів планів у найгіршому випадку пошуку оптимального плану розраховується за формулою 1, однак цей метод дозволяє значно скоротити час на пошук в порівнянні з методом аналізу перестановок.

В роботі [4] описано застосування цього методу для двокритеріальної оптимізації матриці планування експерименту з накладанням обмеження на додатковий критерій. Оптимізація планів БФЕ для композиційних планів другого порядку при дослідженні об'єкту, що характеризується квадратичною моделлю, представлена в роботах [5, 6], а двопараметрична оптимізація – в роботі [7].

Переваги методу: точний; можливість двокритеріальної оптимізації; застосовується для ПФЕ, ДФЕ, ОЦКП, РЦКП; працездатність методу ефективна для $k \leq 7$ (для ПФЕ та ДФЕ) та $k \leq 5$ для ОЦКП чи РЦКП.

Недоліки методу: факторіальна складність алгоритму, в результаті чого ефективність методу суттєво знижується при збільшенні вхідних даних: кількості факторів або їх рівнів.

3. Метод оптимізації планів на основі серійних послідовностей. Сутність методу полягає у представленні планів БФЕ у формі серійних послідовностей. При зміні порядку експериментів змінюється вид серійних послідовностей. Таким чином, процедура пошуку оптимального плану БФЕ зводиться до формування множини відповідних типових серійних послідовностей, кількість яких значно менша за кількість можливих планів БФЕ, та вибору серед них оптимального варіанта [8].

Максимальну кількість змін рівнів факторів для ПФЕ ($r = 2$, де r – кількість рівнів факторів) можна знайти за формулою

$$W_{max}(k) = 2^{k-1} \times k + (2^{k-1} - 1) \times (k - 1) \quad (2)$$

де W_{max} – максимальна кількість змін рівней факторів;

k – кількість факторів.

Переваги методу: точний; висока швидкодія; працездатність методу ефективна для $k \leq 16$.

Недоліки методу: однокритеріальна оптимізація; необхідність більшого обсягу пам'яті для формування типових серійних послідовностей; ефективність методу суттєво знижується при збільшенні кількості рівнів.

4 Комбінаторно-графовий метод. Комбінаторно-графовий метод дозволяє розглядати лише перспективні варіанти для побудови оптимального плану експерименту. Він заснований на використанні Ф-графів – орієнтованих зважених графів, що дозволяють урахувати послідовність зміни рівней факторів при проведенні експерименту. Вершини такого графа мають різний окрас, а ребра – різну вагу (значення критерія оптимізації) [9].

Кількість варіантів, які необхідно проаналізувати в запропонованому методі визначається за формулою:

$$N_g = h \times 2^n \times n!, \quad (3)$$

де N_g – загальна кількість проаналізованих варіантів планів;
 h – кількість графічних розбивок;
 n – кількість вхідних факторів.

Переваги методу: точний; працездатність методу ефективна для кількості факторів $3 < k \leq 7$.

Недоліки методу: складність реалізації методу; ефективність методу суттєво знижується при збільшенні кількості рівнів; необхідність більшого обсягу пам'яті для зберігання каталогів типових оптимальних планів та розбивок; однокритеріальна оптимізація.

5. Метод «стрибаючих жаб» для оптимального планування БФЕ. У запропонованому методі поєднується пошук локального екстремуму в «стаї жаб», або мемеплексу, та глобального пошуку оптимума критерія оптимізації, завдяки порівнянню положення «найуспішніших жаб» кожного мемеплексу між собою [42]. Визначення «найуспішнішої жаби» відбувається за найменшим значенням критерію оптимізації щодо переходів між рівнями для кожного з факторів. В межах мемеплексу відбувається сортування позицій «жаб» за спаданням. Згідно алгоритму «найгірша жаба» завжди намагається покращити своє положення шляхом випадкового переміщення в напрямку «найуспішнішої жаби» [10]. Кількість ітерацій задається дослідником.

Переваги методу: висока швидкодія; працездатність методу ефективна для $k \leq 7$.

Недоліки методу: наближений; однокритеріальна оптимізація; випадковість пошуку, що може значно вплинути на кінцевий результат.

6. Метод мавп'ячого пошуку для оптимізації планів БФЕ. Вказаний метод заснований на метаевристичному алгоритмі, що відображає пошук їжі мавпами в горах [43]. Він поєднує елементи визначення локальних оптимумів критерію оптимізації в межах певного блоку даних (досліджуваної області), алгоритм руху агента «вгору» сторону глобального оптимума та зберігання його значення в межах заданої дослідником кількості кроків. При цьому кількість блоків в стовпцях, по яким переміщується агент (мавпа), визначається за формулою [11]:

$$N_{\text{блоків}} = 2N, \quad (4)$$

де $N_{\text{блоків}}$ – кількість блоків;
 N – номер стовпця.

Переваги методу: висока швидкодія; простота реалізації; працездатність методу ефективна для $k \leq 7$.

Недоліки методу: наближений; однокритеріальна оптимізація; випадковість пошуку, що може значно вплинути на кінцевий результат.

7. Метод пошуку «косяком риб» оптимальних планів БФЕ. Метод заснований на алгоритмі пошуку косяком риб [44] та базується на перестановці стовпців плану експерименту в залежності від значення суми переходів між рівнями для кожного з факторів. «Косяки риб» формуються за таким принципом: менше «косяків риб» там, де більша сума переходів між рівнями факторів. Після цього відбувається перестановка агентів, розташованих поблизу в матриці плану експерименту [12]. Кількість ітерацій задається дослідником.

Переваги методу: висока швидкодія; працездатність методу ефективна для $k > 3$ (ПФЕ).

Недоліки методу: наближений; однокритеріальна оптимізація; випадковість пошуку, що може значно вплинути на кінцевий результат.

8. Метод рою частинок для оптимізації планів БФЕ. Суть метода полягає у моделюванні поведінки популяції частинок в просторі критерія оптимізації [13]. Згідно нього спершу формується зведена матриця планування експерименту. Розміщення частинок по всій зведеній матриці має випадковий характер, а частинка – довільний напрямком вектору швидкості. При переміщенні частинки вздовж стовпців та рядків матриці в кожній точці обчислюється значення критерію оптимальності плану експерименту. В процесі руху

частинки запам'ятовується найкраще значення критерія оптимізації та розташування найкращої знайденої точки, а також відбувається корегування швидкості частинки з урахуванням наближеності до самостійно знайденої і глобальної кращої точки. Після певної кількості ітерацій частки розміщуються навколо глобальної найкращої точки, що призводить до зміни поточних координат кожної частинки. На останньому кроці алгоритму, що реалізує вказаний метод, проводиться перевірка на знаходження нової глобальної найкращої точки та збереження її координат і значення критерія оптимізації плану експерименту [14].

Переваги методу: висока швидкодія; працездатність методу ефективна для кількості факторів $k > 3$.

Недоліки методу: наближений; однокритеріальна оптимізація; випадковість пошуку, що може значно вплинути на кінцевий результат.

9. Метод оптимального планування експерименту на основі генетичних алгоритмів (класичний, комірковий, острівна модель). Сутність методу полягає у застосуванні підходу генетичної спадковості, за яким плани експерименту представляються у вигляді індивідів, або набору генів, що характеризують рядки матриці плану БФЕ. Процес пошуку оптимального плану експерименту здійснюється на основі значень функції пристосованості. Підвищити ефективність методу дозволяє використання принципу елітарного підходу та процедури двокрапкового схрещування [15].

У варіантах класичного генетичного алгоритму та острівної моделі схрещування відбувається з використанням РМХ кроссовера, а у варіанті коміркового генетичного алгоритму – МРХ кроссовера [45].

Переваги методу: висока швидкодія; працездатність методу ефективна для багаторівневих планів та $k > 3$.

Недоліки методу: наближений; однокритеріальна оптимізація; необхідність більшого обсягу пам'яті для зберігання проміжних планів БФЕ.

10. Метод пошуку оптимальних планів БФЕ на основі мурашиних алгоритмів. Метод базується на використанні мурашиних алгоритмів (мурашиної системи, МАКС-МІН, мурашиної колонії тощо), що моделюють поведінку мурах при пошуку дороги до їжі [46]. Згідно методу формується матриця дуг, елементи якої $d_{i,j}$ – значення критерію оптимізації при переході з i -ого в j -ий експеримент початкової матриці планування. Після цього на кожній дузі розміщується початкова кількість феромону, а також виконується розміщення мурах по відповідній кількості вузлів. Далі мурахи переміщуються по вузлам матриці стохастично, змінюючи кількість феромону на своєму шляху [17]. Оскільки метод має імовірнісний характер, то кількість ітерацій задається дослідником. По завершенню виконання заданої кількості кроків визначається оптимальний план БФЕ та значення критерію оптимізації.

Переваги методу: висока швидкодія; працездатність методу ефективна для кількості факторів $3 < k \leq 10$.

Недоліки методу: наближений; випадковість пошуку, що може значно вплинути на кінцевий результат; однокритеріальна оптимізація.

11. Метод послідовного наближення для оптимізації композиційних планів. Основою цього методу є послідовне переміщення рядків матриці та пошук місця в плані БФЕ, що призводить до найбільшого ефекту з точки зору оптимізації (зменшення вартості або часу) при реалізації експерименту. Спочатку відбувається зміна положення одного рядка, потім двох, трьох і т. д. Якщо при повторенні таких дій кращий результат не був знайдений, то отриманий план фіксується як оптимальний [18].

Переваги методу: висока швидкодія; працездатність методу ефективна для $3 < k \leq 10$; оптимізація композиційного плану (ОЦКП чи РЦКП); невеликий обсяг пам'яті при обчисленні.

Недоліки методу: наближений; однокритеріальна оптимізація; ефективність методу суттєво знижується при збільшенні вхідних даних: кількості факторів або їх рівнів.

12. Композиційний метод побудови локальних оптимальних планів експерименту. Запропонований метод включає багаторівневу композицію локальних оптимальних планів

БФЕ. Сукупність вхідних факторів ділиться на h груп по k_i факторів в i -ій групі [19].

Загальна кількість можливих варіантів розділення k факторів на h груп визначається за формулою:

$$L(k, h) = C_k^{k_1} \times \prod_{i=2}^h C_{k - \sum_{j=1}^{i-1} k_j}^{k_i}, \quad (5)$$

де k – загальна кількість факторів;

i, j – порядковий номер групи розділення плану БФЕ;

h – загальна кількість груп розділення плану БФЕ;

k_i, k_j – кількість факторів в i -тому або j -тому розбитті.

В кожній групі планів існує сукупність локальних планів БФЕ. Для того, щоб зберегти нульову вартість зміни рівнів між локальними планами, значення рівнів факторів першого досліду i -ого плану співпадають зі значеннями рівнів факторів останнього досліду ($i-1$) плану.

Переваги методу: висока швидкодія; працездатність методу ефективна для $k > 3$.

Недоліки методу: наближений; однокритеріальна оптимізація; більший обсяг пам'яті для зберігання локальних планів БФЕ; ефективність методу суттєво знижується при збільшенні вхідних даних: кількості факторів або їх рівнів.

13. Метод оптимального планування на основі жадібного алгоритму. Метод дозволяє отримувати локальні оптимальні плани БФЕ на основі покрокового послідовного знаходження локальних оптимальних дослідів та ґрунтується на тому, що якщо на кожному локальному етапі вибирався оптимальний перехід, то і загальний план проведення експерименту буде оптимальним. Вказана процедура відбувається шляхом обчислення значення параметру переходу рядка матриці з початкового стану в стан поточного можливого переходу та знаходження його мінімального значення серед всіх можливих варіантів. Після аналізу всіх можливих переходів з кожного досліду формується оптимальний план БФЕ [20].

Загальна складність алгоритму, на якому базується метод – $O(N \cdot \log N)$, де N – загальна кількість дослідів, O – позначення складності алгоритму.

Переваги методу: висока швидкодія; простота реалізації методу; двокритеріальна оптимізація; працездатність методу ефективна для багаторівневих планів та $k > 3$.

Недоліки методу: наближений (в окремих випадках може давати найгірший результат); однокритеріальна оптимізація.

14. Метод імітації відпалу для оптимального планування БФЕ. В основі метода лежить обрахунок степеню сканування (row), що визначається дослідником самостійно, та генерації двох випадкових чисел X, Y в межах від k до 2^k (k – кількість вхідних факторів). Після їх отримання відбувається перестановка в поточному плані експерименту дослідів під номерами X та Y . Якщо утворений план краще початкового за критерієм оптимізації, то новостворений визначається як оптимальний. При перевищенні значення обраного степеню сканування формується кінцевий результат оптимального плану [21]. Складність алгоритму, на якому базується метод, – $O(row \cdot 2^k)$.

Переваги методу: висока швидкодія для $3 \leq k \leq 5$; простота реалізації методу.

Недоліки методу: наближений; однокритеріальна оптимізація; випадковість пошуку, що може значно вплинути на кінцевий результат; при $k > 5$ швидкодія методу зменшується.

15. Симплекс-метод для оптимального планування БФЕ. У запропонованому методі план БФЕ моделюється опуклим багатогранником у багатовимірному просторі. Кожне значення рівня факторів представляється у вигляді вершини багатогранника. На кожному кроці відбувається послідовне переміщення до тієї вершини, що дозволяє отримати мінімальне значення критерію оптимізації при переході з попередньої [22].

Таким чином, за допомогою симплекс методу можна отримати оптимальні або близькі до оптимальних плани БФЕ.

Переваги методу: висока швидкодія; простота реалізації без застосування комп'ютерної

техніки; працездатність методу ефективна для $k > 3$.

Недоліки методу: наближений; однокритеріальна оптимізація; ефективність методу суттєво знижується при збільшенні вхідних даних: кількості факторів або їх рівнів.

16. Метод випадкового пошуку для оптимального планування БФЕ. Метод базується на алгоритмі перестановки стовпців або рядків матриці планування експерименту. Кількість стовпців дорівнює кількості вхідних факторів. Здійснюючи повний перебір усіх перестановок можна знайти наближений оптимальний план з мінімальною вартістю чи часом реалізації. При перестановці рядків експериментатор завчасно визначає кількість кроків ітерації [23].

Переваги методу: простота реалізації; висока швидкодія; не залежить від виду плану; працездатність методу ефективна для кількості факторів $k \leq 6$.

Недоліки методу: наближений; однокритеріальна оптимізація; ефективність методу суттєво знижується при збільшенні вхідних даних: кількості факторів або їх рівнів.

17. Метод синтезу оптимальних планів на основі коду Грея. Код Грея - це система обчислення, в якій два сусідніх значення розрізняються лише в одному розряді [47]. Суть запропонованого методу полягає в тому, що ПФЕ представляється у вигляді кодової маски, виконаної в коді Грея [24 - 26].

Для побудови оптимального плану експерименту можна використовувати два наступних правила:

- 1) рядки плану експерименту заповнюються з «-1», а їхня кількість дорівнює 2^{i-1} , де i - номер фактора;
- 2) план формується шляхом чергування груп символів з «+1» і «-1», а їхня кількість визначається як 2^i .

При складанні плану в якості першого фактора необхідно вибирати той, що має найменші показники критерія оптимізації при зміні значень рівнів фактора. Далі фактори слід обирати таким чином, що значення критерія оптимізації зростало.

В роботі [28] описано похідний метод для дробного факторного експерименту, що відрізняється кодовою маскою, яка заснована на коді Грея з кількістю дослідів $N = 2^{k-n}$ (k - загальна кількість факторів; n - кількість факторів, що прирівняна до взаємодій $(k-n)$ факторів). При цьому значення рівнів n факторів прирівнюються до значень взаємодій $(k-n)$ факторів. Спочатку будується план ПФЕ 2^{k-n} , що є оптимальним за загальною кількістю переходів з «-1» в «+1» та навпаки, а потім з нього формується план ДФЕ. При його складанні в якості взаємодій необхідно вибирати такі, що мають мінімальну кількість переходів рівнів факторів, а в якості фактору X_l - фактор, що має найменше значення критерію оптимізації при зміні переходів його рівнів. Наступні ж фактори обираються з урахуванням зростання цих значень.

Переваги методу: висока швидкодія; працездатність методу ефективна для кількості факторів $k \leq 5$; можливість будувати плани БФЕ вручну.

Недоліки методу: наближений; однокритеріальна оптимізація; застосовується для дворівневих планів ПФЕ та ДФЕ; ефективність методу суттєво знижується при збільшенні вхідних даних: кількості факторів або їх рівнів.

18. Метод найближчого сусіда. Представлений метод базується на алгоритмі найближчого сусіда [48], який використовується при побудові оптимального плану починаючи з другого рядка. При цьому відбувається перебір всіх дослідів початкової матриці планування експерименту, які ще не додавали в нову. Його метою є пошук дослідів, вартість переходу до якого від попереднього буде мінімальною [30].

Переваги методу: висока швидкодія; працездатність методу ефективна для кількості факторів $k > 3$.

Недоліки методу: наближений; однокритеріальна оптимізація; випадковість пошуку, що може значно вплинути на кінцевий результат.

19. Метод табу-пошуку. Запропонований метод табу-пошуку є метаевристичним та заснованим на локальному пошуку. На кожному кроці ітерації в якості нового поточного

рішення вибирається краще рішення в околі поточного, навіть якщо це призводить до збільшення вартості рішення. Таким чином, метод табу-пошуку дозволяє обійти погані локальні екстремуми [31]. Обов'язковою умовою реалізації метода табу-пошуку є завчасне визначення кількості кроків ітерацій – N та довжини табу-списку (списку заборон) – L .

Переваги методу: висока швидкодія; працездатність методу ефективна для кількості факторів $k \leq 7$.

Недоліки методу: наближений; випадковість пошуку, що може значно вплинути на кінцевий результат; однокритеріальна оптимізація.

20. Метод вкладених розбивок. Суть метода [32] полягає в знаходженні мінімального значення критерію оптимізації при переходах від i -ого до $(i+4)$ включно, де i – номер рядка початкової матриці планування експерименту. На основі визначеного мінімального переходу відповідна строчка матриці планування експерименту додається в якості першої (або наступної) у оптимальний план. При цьому знайдений перехід виключається з подальшого аналізу. Кількість ітерацій задається дослідником.

Переваги методу: висока швидкодія; працездатність методу ефективна для кількості факторів $k > 3$.

Недоліки методу: наближений; випадковість пошуку, що може значно вплинути на кінцевий результат; однокритеріальна оптимізація.

Висновок. Таким чином, основні результати проведеного аналізу 20 методів оптимального планування багатфакторного експерименту за вартісними та часовими показниками подано в таблиці 1.

Таблиця 1

Порівняльний аналіз методів оптимального планування БФЕ за вартісними та часовими показниками

№ з/п	Назва методу	Точність методу	Кількість факторів	Кількість критеріїв оптимізації	Вид плану БФЕ
1	Метод аналізу перестановок (повний перебір)	Точний	$k \leq 3$	1	ПФЕ, ДФЕ
2	Метод гілок та меж	Точний	$k \leq 7$ $k \leq 5$	2	ПФЕ, ДФЕ ОЦКП, РЦКП
3	Метод на основі серійних послідовностей	Точний	$k \leq 16$	1	ПФЕ, ДФЕ ОЦКП, РЦКП
4	Комбінаторно-графовий метод	Точний	$k \leq 7$	1	ПФЕ, ДФЕ
5	Метод «стрибаючих жаб»	наближений	$k \leq 7$	1	ПФЕ, ДФЕ
6	Метод мав'ячого пошуку	наближений	$k \leq 7$	1	ПФЕ, ДФЕ
7	Метод пошуку «косяком риб»	наближений	$k > 3$	1	ПФЕ, ДФЕ
8	Метод рою частинок	наближений	$k > 3$	1	ПФЕ, ДФЕ
9	Метод на основі генетичних алгоритмів	наближений	$k > 3$	1	ПФЕ, ДФЕ
10	Метод на основі мурашиних алгоритмів	наближений	$k \leq 10$	1	ПФЕ, ДФЕ
11	Метод послідовного наближення	наближений	$k \leq 10$	2	ОЦКП, РЦКП
12	Композиційний метод	наближений	$k > 3$	1	ПФЕ, ДФЕ
13	Метод на основі жадібного алгоритму	наближений	$k > 3$	1	ПФЕ, ДФЕ
14	Метод імітації відпалу	наближений	$k \leq 5$	1	ПФЕ, ДФЕ
15	Симплекс-метод	наближений	$k > 3$	1	ПФЕ, ДФЕ
16	Метод випадкового пошуку	наближений	$k \leq 6$	1	ПФЕ, ДФЕ ОЦКП, РЦКП
17	Метод на основі коду Грея	наближений	$k \leq 5$	1	ПФЕ, ДФЕ
18	Метод найближчого сусіда	наближений	$k > 3$	1	ПФЕ, ДФЕ
19	Метод табу-пошуку	наближений	$k \leq 7$	1	ПФЕ, ДФЕ
20	Метод вкладених розбивок	наближений	$k > 3$	1	ПФЕ, ДФЕ

Аналіз табл. 1 дає можливість сформулювати для дослідника практичні рекомендації щодо використання методів оптимізації БФЕ за вартісними та часовими показниками:

для дворівневих планів ПФЕ та ДФЕ при кількості факторів $k \leq 3$ доцільно використовувати базовий метод – аналіз перестановок;

для дворівневих планів ПФЕ та ДФЕ при кількості факторів $3 < k \leq 7$ ефективним буде використання точних методів: методу гілок та меж або методу на основі серійних послідовностей;

для дворівневих планів ПФЕ та ДФЕ при кількості факторів $7 < k \leq 16$ при оптимізації найкращим буде використання методу на основі серійних послідовностей. Цей метод також буде ефективним для тривірневих планів ПФЕ та ДФЕ з кількістю факторів $k \leq 11$.

для ОЦКП та РЦКП при кількості факторів $k \leq 5$ доцільним буде використання методу гілок та меж, а при $5 < k \leq 10$ – методу послідовного наближення або методу на основі мурашиних алгоритмів;

варто зауважити, що оскільки верхня межа кількості факторів з точки зору ефективності застосування наближених методів не є повністю дослідженою (наприклад, метод на основі генетичних алгоритмів, вкладених розбивок тощо), то для $k > 3$ вони будуть давати оптимальні результати з більш високою швидкістю, ніж точні;

метод на основі коду Грея не потребує розробки програмного забезпечення та дозволяє будувати плани БФЕ вручну.

Згідно проведеного дослідження **подальшими напрямками розвитку** оптимального планування експерименту за часовими та вартісними показниками можуть бути:

- класифікація методів за основними для експериментатора характеристиками, а саме: кількістю факторів дослідження, точністю, кількістю критеріїв оптимізації, видами плану експерименту;

- розробка та удосконалення методів двокритеріальної оптимізації за часовими та вартісними показниками;

- розробка та удосконалення наближених методів для ОЦКП, РЦКП та багаторівневих планів БФЕ;

- порівняльний аналіз швидкодії наближених методів для $k > 7$.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Кошевой Н. Д. Оптимальное планирование эксперимента для объектов с различным количеством уровней факторов [Текст] / Н. Д. Кошевой, В. А. Дергачев, Е. А. Сухобрус, Е. М. Костенко // Зб. наук. пр. військ. ін-ту Київського нац. ун-ту ім. Тараса Шевченка. – К.: ВІКНУ, 2012. – Вип. 35. – С. 98–100.

2. Кошевой Н. Д., Бестань С. Г. Дергачев В. А. Применение комбинаторного анализа при выборе оптимальных планов многофакторного эксперимента. Теорія і практика перебудови економіки: зб. наукових праць ЧІПІ. – Черкаси, 2001. – С. 224–227.

3. Кошевой Н. Д., Бурлеев О. Л., Костенко Е. М. Применение метода ветвей и границ для оптимизации многофакторных планов эксперимента [Текст]. Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2010. – № 1(42). – С. 67–70.

4. Кошевой Н. Д., Бурлеев О. Л., Костенко Е. М. Оптимальное планирование эксперимента с введением ограничения по дополнительному критерию [Текст]. Вісник Сумського державного університету. – 2010. – № 3. – Т. 2. – С. 63–67.

5. Кошевой Н. Д., Костенко Е. М., Чуйко А. С. Применение метода ветвей и границ для оптимизации композиционных планов второго порядка [Текст]. Зб. наук. пр. військ. ін-ту Київського нац. ун-ту ім. Тараса Шевченка. – Вип. 25. – К., 2010. – С. 95–101.

6. Кошевой Н. Д., Костенко Е. М., Чуйко А. С. Алгоритм оптимизации композиционных планов второго порядка методом ветвей и границ [Текст]. Математичне моделювання. – 2010. – № 2(23). – С. 14–18.

7. Кошевой Н. Д., Костенко Е. М., Чуйко А. С. Применение метода ветвей и границ для двухпараметрической оптимизации композиционных планов второго порядка [Текст]. Зб. наук. пр. військ. ін-ту Київського нац. ун-ту ім. Тараса Шевченка. – Вип. 32. – К., 2011. – С. 124–131.

8. Костенко О. М. Оптимізація планів експериментів в умовах обмежених матеріальних та часових ресурсів. Вісник Полтавської державної аграрної академії. – 2015. – № 3. – С. 124–131.

9. Кошевой Н. Д., Павлик В. В., Сытник В. В. Комбинаторно-графовый метод построения оптимальных планов многофакторного эксперимента. Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2015. – № 4. – С. 74–80.

10. Koshevoy N. D., Muratov V. V., Kirichenko A. L., Borisenko S. A. Application of the “jumping frogs” algorithm for research and optimization of the technological process. *Radio Electronics, Computer Science, Control*. 2021. no1(1). – P. 57 – 65. DOI: 10.15588/1607-3274-2021-1-6.
11. Кошовий М. Д., Муратов В. В. Застосування алгоритму мавп'ячого пошуку для оптимізації планів повного факторного експерименту. *Збірник наукових праць Військового інституту Київського Національного університету імені Тараса Шевченка*, 2019. – № 61. – С. 61–70.
12. Koshevoy N. D., Kostenko E. M., Muratov V. V. Application of the fish search method for optimization plans of the full factor experiment. *Radio Electronics, Computer Science, Control*. 2020. no 2. P. 44 - 50. DOI: 10.15588/1607-3274-2020-2-5.
13. Кошевой Н. Д., Беляева А. А. Применение метода роя частиц для оптимизации трехуровневых планов многофакторного эксперимента. *Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка*. – 2017. – Вып. 55. – С.46–51.
14. Кошевой Н. Д., Беляева А. А. Применение алгоритма оптимизации роем частиц для минимизации стоимости проведения многофакторного эксперимента. *Радіоелектроніка, інформатика, управління*. - 2018. - № 1. - С. 41-49. DOI: 10.15588 / 1607-3274-2018-1-1
15. Кошевой Н. Д., Сухобрус Е. А. Оптимальное планирование эксперимента с использованием генетических алгоритмов. *Математичне моделювання*. - 2013. - № 2. - С. 36-40.
16. Koshevoy N. D., Gordienko V. A., Sukhobrus Ye. A., Optimization for the design of technological processes. *Telecommunications and Radio Engineering*. 2014. Vol. 73, no 15. P. 1383–1386. DOI: 10.1615/TelecomRadEng.v73.i15.60.
17. Кошевой Н. Д., Чуйко А. С. Применение муравьиных алгоритмов для оптимизации факторных планов эксперимента. *Математичне моделювання*. – 2013. – № 1. – С. 92–97.
18. Кошевой М. Д., Костенко О. М., Чуйко О. С. Алгоритм оптимізації композиційних планів експерименту методом послідовного наближення [Текст]. *Электротехнические и компьютерные системы*. – К.: Техника, 2012. – № 6 (82). – С. 249–254.
19. Методология оптимального по стоимостным и временным затратам планирования эксперимента [Текст]: монография / Н. Д. Кошевой та інш. – Полтава: Полтавская государственная аграрная академия. – 2017. – 232 с. ISBN 978-966-2088-79-3.
20. Кошевой Н. Д., Бельмега А. В. Применение жадного алгоритма для оптимизации многофакторных планов эксперимента. *Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка*. - 2014. - Вып. 47. - С. 29-37.
21. Кошевой Н. Д., Бельмега А. В., Чистикова З. Э. Применение алгоритма имитации отжига для оптимизации многофакторных планов эксперимента. *Системы обработки информации*. – 2015. – №6(131). – С. 103-106.
22. Кошевой, Н. Д. Сухобрус Е. А. Оптимальное планирование эксперимента на основе симплекс-метода. *Математичне моделювання*. – Дніпродзержинськ: Дніпродзержинський державний технічний університет, 2012. – Вып. 1 (26). – С. 27-30.
23. Кошевой Н. Д., Беляева А. А. Применение алгоритма случайного поиска для минимизации стоимости проведения многофакторного эксперимента. *Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии*. – 2015. – Вып. 70. – С. 255–262.
24. Кошевой Н. Д., Кошевая И. И., Раскин Л. Г. Синтез оптимальных по стоимостным или временным затратам планов полного факторного эксперимента. *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. - 2016. - № 2. - С. 46–50.
25. Koshevoy N. D., Kostenko E. M., Pavlyk A. V., Koshevaya I. I., Rozhnova T. G. Research of multiple plans in multi-factors experiments with a minimum number of transitions of levels of factors. *Radio Electronics, Computer Science, Control*. 2019. no 2, P.53-59. DOI: 10.15588/1607-3274-2019-2-6.
26. Koshevoy N., Cherepashuk G., Kalashnikov Ye., Zabolotnyi O., Siroklyn V. Development, research and optimization of weight measuring system. *Ukrainian metrological journal*. 2021. no 3, P.43 - 49. DOI:10.24027/2306-7039.3.2021.241640.
27. Koshevoy N., Zabolotnyi O., Tsekhevskyi M., Koshevaya I., Kostenko E. Research and optimization of the eddy current transducer of dielectric coating thickness on metal surfaces of products. *Ukrainian metrological journal*. 2020. no 2, P.33 - 39. DOI: 10.24027/2306-7039.2.2020.208935.
28. Кошевой Н. Д., Заболотный А. В., Кошевая И. И. Синтез оптимальных по стоимостным или временным затратам планов дробного факторного эксперимента. *Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии*. – 2016. – Вып. 72. – С. 177-182.

29. Koshevoy N. D., Dergachov V. A., Pavlyk A.V., Zabolotnyi O. V., Koshevaya I. I., Kostenko E. M. The method of building plans of multifactorial experiments with minimal number of factor levels measurements and optimal by cost(time) expenses. *Radio Electronics, Computer Science, Control*. 2020. no 4, P.55-64. DOI: 10.15588/1607-3274-2020-4-6.
30. Кошевой Н. Д., Чистикова З. Э., Бельмега А. В. Оптимизация многофакторных планов эксперимента с применением алгоритма имитации отжига и ближайшего соседа. *East European Scientific Journal*. – Warsaw, Poland, 2016. – Vol. 2 (6). – С. 115-118.
31. Кошевой Н. Д., Беляева А. А. Применение алгоритма табу-поиска для минимизации стоимости проведения многофакторного эксперимента. *Зб. наук. пр. Військ. ін-ту Київськ. нац. ун-ту ім. Тараса Шевченка*. – 2016. – № 52. – С.116-122.
32. Кошевой Н. Д., Стадник А. С. Оптимальное планирование эксперимента в условиях ограниченных ресурсов. *Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка*. – 2016. – Вип. 54. – С. 230-235.
33. Koshevoy N. D., Kostenko E. M., Beliaieva A. A. Comparative analysis of optimization methods in the investigation of a weigh-measuring system and thermoregulatory. *Radio Electronics, Computer Science, Control*. 2018. no 4, P.179-187. DOI: 10.15588/1607-3274-2018-4-17.
34. Кошевой Н. Д., Бурлеев О. Л., Костенко Е. М. Сравнительный анализ методов оптимизации многофакторных планов эксперимента [Текст]. *Автоматизированные системы управления и приборы автоматики*. – Вып. 150. – Х.: Харьк. нац. ун-т радиоэлектроники, 2010. – С. 60–64.
35. Кошевой Н. Д., Костенко Е. М., Муратов В. В., Крюков А. М., Биленко А. И., Морозов А. А. Сравнительный анализ методов оптимизации по стоимостным (временным) затратам планов полного факторного эксперимента. *Радіоелектроніка, інформатика, управління: науковий журнал*. – 2020. – № 1. – С. 54-62. DOI: 10.15588/1607-3274-2020-1-6.
36. Кошевой Н. Д., Костенко Е. М., Чуйко А. С. Сравнительный анализ алгоритмов оптимизации композиционных планов второго порядка [Текст]. *Зб. наук. пр. військ. ін-ту Київського нац. ун-ту ім. Тараса Шевченка*. – Вип. 30. – К., 2011. – С. 40–45.
37. Кошевой Н. Д., Кошевая И. И., Костенко Е. М. Сравнительный анализ методов синтеза оптимальных по стоимостным (временным) затратам планов многофакторного эксперимента [Текст]. *Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка*. – К., 2016. – №54. – С.33-39.
38. Кошовий М. Д., Костенко О. М., Дергачов В. А., Бурлеев О. Л., Чуйко О. С. Програмні засоби для оптимізації планів експерименту за часовими і вартісними витратами. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*. – Д.: НГУ, 2011. – Вип. №36. – Т. 1. – С.76-82.
39. Кошевой Н. Д., Костенко Е. М. Оптимальное по стоимостным и временным затратам планирование эксперимента [Текст]: монография. *Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «Харьк. авиац. ин-т»*. – Х.: ХАИ; Полтава: Шевченко Р. В., 2013. – 316 с. ISBN 978-966-8798-89-4.
40. Кошевой Н.Д., Костенко Е.М., Чуйко А.С. Оптимизация комбинаторных планов эксперимента. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*. – 2013. – № 43. – С. 26-33.
41. Юхименко Б. И. Модификации метода ветвей и границ для решения задач целочисленного линейного программирования и их эффективность. *Информатика та математичні методи в моделюванні*. – 2015. – Т. 5, № 1. – С. 84-91.
42. Elbeltagi E., Hegazy T., Grierson D. Comparison among five evolutionary-based optimization algorithms // *J. Advanced Engineering Informatics*, 2005, no. 19, pp. 43–53.
43. Zhao R., Tang W. Monkey Algorithm for Global Numerical Optimization. *Journal of Uncertain Systems*. – 2008. – V.2, no.3, pp.165-176.
44. Bastos-Filho C. J. A., Lima-Neto F. B., Lins A. J. C. C., Nascimento A. I. S., Lima M. P., Fish school search // *Nature-Inspired Algorithms for Optimization*. SCI. Springer. Heidelberg, 2009. Vol.193, pp. 261-277.
45. Larran Aga P., Kuijpers C. M. H., Murga R. H., Inza I. Genetic, Dizdarevic S. Algorithms for the Travelling Salesman Problem: A Review of Representations and Operators. *Artificial Intelligence Review 13* – Netherlands: Kluwer Academic Publishers. – 1999 – pp. 129 - 170.
46. Shtovba S. Ant Algorithms: Theory and Applications. *Programming and Computer Software*, 2005. vol.31, pp. 167-178. DOI: 10.1007/s11086-005-0029-1.
47. Afaq A. Another Perspective in Generating and Using Gray Code-word. *Elektrika: Journal of Electrical Engineering*, 2007. vol.9, no 2, pp. 49-55.

48. Zhang Z. Introduction to machine learning: k-nearest neighbors. *Ann Transl Med.* 2016; vol.4, №11, pp. 218-224. DOI: 10.21037/atm.2016.03.37.

REFERENCES:

1. Koshevoy, N. D. Optimalnoe planirovanie eksperimenta dlya ob'ektov s razlichnyim kolichestvom urovney faktorov / N. D. Koshevoy, V. A. Dergachev, E. A. Suhobrus, E. M. Kostenko // *Zb. nauk. pr. vIysk. In-tu KiYivskogo nats. un-tu Im. Tarasa Shevchenka.* – K.: VIKNU, 2012. – Vip. 35. – P. 98–100.
2. Koshevoy, N. D., Bestan, S. G. Dergachev, V. A. Primenenie kombinatornogo analiza pri vyibore optimalnykh planov mnogofaktornogo eksperimenta. *Teoriya I praktika perebudovi ekonomiki: zb. naukovih prats ChITI.* – Cherkasi, 2001. – pp. 224–227.
3. Koshevoy, N. D., Burleev, O. L., Kostenko, E. M. Primenenie metoda vetvey i granits dlya optimizatsii mnogofaktornykh planov eksperimenta. *Radioelektronni I komp'yuterni sistemi.* – 2010. – № 1(42). – pp. 67–70.
4. Koshevoy, N. D., Burleev, O. L., Kostenko, E. M. Optimalnoe planirovanie eksperimenta s vvedeniem ogranicheniya po dopolnitelnomu kriteriyu. // *Visnik Sumskogo derzhavnogo unIversitetu.* – 2010. – № 3. – T. 2. – P. 63–67.
5. Koshevoy, N. D., Kostenko, E. M., Chuyko, A. S. Primenenie metoda vetvey i granits dlya optimizatsii kompozitsionnykh planov vtorogo poryadka // *Zb. nauk. pr. vIysk. In-tu KiYivskogo nats. un-tu Im. Tarasa Shevchenka.* – Vip. 25. – K., 2010. – pp. 95– 101.
6. Koshevoy, N. D., Kostenko, E. M., Chuyko, A. S. Algoritm optimizatsii kompozitsionnykh planov vtorogo poryadka metodom vetvey i granits. *Matematychni modeliuvannya.* – 2010. – № 2(23). – pp. 14–18.
7. Koshevoy, N. D., Kostenko, E. M., Chuyko, A. S. Primenenie metoda vetvey i granits dlya dvuhparametricheskoy optimizatsii kompozitsionnykh planov vtorogo poryadka // *Zb. nauk. pr. viisk. in-tu Kyivskoho nats. un-tu im. Tarasa Shevchenka.* – Vyp. 32. – K., 2011. – pp. 124– 131/.
8. Kostenko O. M. Optyimizatsiia planiv eksperymentiv v umovakh obmezhenykh materialnykh ta chasovykh resursiv. // *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarynoi akademii.* – 2015. – № 3. – pp. 124–131.
9. Koshevoy, N. D., Pavlik, V. V., Syitnik, V. V. Kombinatorno-grafovyyi metod postroeniya optimalnykh planov mnogofaktornogo eksperimenta. *Radioelektronni i kompiuterni systemy.* – 2015. – № 4. – pp. 74–80.
10. Koshevoy, N. D., Muratov, V. V., Kirichenko, A. L., Borisenko, S. A. Application of the “jumping frogs” algorithm for research and optimization of the technological process. *Radio Electronics, Computer Science, Control.* 2021. no1(1). – P. 57 – 65. DOI: 10.15588/1607-3274-2021-1-6.
11. Koshovyi, M. D., Muratov, V. V. Zastosuvannya alhorytmu mavpiachoho poshuku dlia optyimizatsii planiv povnoho faktornoho eksperymentu // *Zbirnyk naukovykh prats Viiskovoho instytutu Kyivskoho Natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka,* 2019. – № 61. – pp. 61–70.
12. Koshevoy, N. D., Kostenko, E. M., Muratov, V. V. Application of the fish search method for optimization plans of the full factor experiment. *Radio Electronics, Computer Science, Control.* 2020. no 2. P. 44 - 50. DOI: 10.15588/1607-3274-2020-2-5.
13. Koshevoy, N. D., Belyaeva, A. A. Primenenie metoda roya chastits dlya optimizatsii trehurovnyykh planov mnogofaktornogo eksperimenta // *Zbirnyk naukovykh prats Viiskovoho instytutu Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka.* – 2017. – Vyp. 55. – pp.46–51.
14. Koshevoy N. D., Belyaeva A. A. Primenenie algoritma optimizatsii roem chastits dlya minimizatsii stoimosti provedeniya mnogofaktornogo eksperimenta. *Radioelektronika, informatyka, upravlinnia.* - 2018. - № 1. - pp. 41-49. DOI: 10.15588 / 1607-3274-2018-1-1.
15. Koshevoy, N. D., Suhobru, s E. A. Optimalnoe planirovanie eksperimenta s ispolzovaniem geneticheskikh algoritmov. *Matematychni modeliuvannya.* - 2013. - № 2. - pp. 36-40.
16. Koshevoy, N. D., Gordienko, V. A., Sukhobrus, Ye. A. Optimization for the design of technological processes. *Telecommunications and Radio Engineering.* 2014. Vol. 73, no 15. P. 1383–1386. DOI: 10.1615/TelecomRadEng.v73.i15.60.
17. Koshevoy, N. D., Chuyko, A. S. Primenenie muravinyykh algoritmov dlya optimizatsii faktornykh planov eksperimenta. *Matematychni modeliuvannya.* – 2013. – № 1. – pp. 92–97.
18. Koshevoy, M. D., Kostenko, O. M., Chuyko, O. S. Algoritm optimIzatsIYi kompozitsIynih planIv eksperimentu metodom poslIdovnogo nablIzhennya. *Электротехнические у компиутерные системы.* – K.: Tekhnika, 2012. – № 6 (82). – pp. 249–254.

19. Metodologiya optimalnogo po stoimostnyim i vremennyim zatratam planirovaniya eksperimenta: monografiya / N. D. Koshevoy ta Insh. – Poltava: Poltavskaya gosudarstvennaya agrarnaya akademiya. – 2017. – 232 p. ISBN 978-966-2088-79-3.
20. Koshevoy N. D., Belmega A. V. Primenenie zhadnogo algoritma dlya optimizatsii mnogofaktornykh planov eksperimenta // Zbirnyk naukovykh prats Viiskovoho instytutu Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. - 2014. - Vyp. 47. - pp. 29-37.
21. Koshevoy N. D., Belmega A. V., Chistikova Z. E. Primenenie algoritma imitatsii otzhiga dlya optimizatsii mnogofaktornykh planov eksperimenta. Systemy obrobky informatsii. – 2015. – №6(131). – pp. 103-106.
22. Koshevoy, N. D. Cuhobrus E. A. Optimalnoe planirovanie eksperimenta na osnove simpleks-metoda. Matematichne modelyuvannya. – DnIprodzerzhinsk: DnIprodzerzhinskiy derzhavniy tehnichniy unIversitet, 2012. – Vip. 1 (26). – pp. 27-30.
23. Koshevoy N. D., Belyaeva A. A. Primenenie algoritma sluchaynogo poiska dlya minimizatsii stoimosti provedeniya mnogofaktornogo eksperimenta. Otkrytyie informatsionnyie i kompyuternyie integrirovannyye tehnologii. – 2015. – Vyip. 70. – pp. 255–262.
24. Koshevoy N. D., Koshevaya I. I., Raskin L. G. Sintez optimalnykh po stoimostnyim ili vremennyim zatratam planov polnogo faktornogo eksperimenta. Radioelektronika i komp'yuternyie sistemi. 2016. Pp. 46–50.
25. Koshevoy N. D., Kostenko E. M., Pavlyk A. V., Koshevaya I. I., Rozhnova T. G. Research of multiple plans in multi-factors experiments with a minimum number of transitions of levels of factors. Radio Electronics, Computer Science, Control. 2019. no 2, P.53-59. DOI: 10.15588/1607-3274-2019-2-6.
26. Koshevoy N., Cherepashuk G., Kalashnikov Ye., Zabolotnyi O., Siroklyn V. Development, research and optimization of weight measuring system. Ukrainian metrological journal. 2021. no 3, P.43 - 49. DOI:10.24027/2306-7039.3.2021.241640.
27. Koshevoy N., Zabolotnyi O., Tsekhovskiy M., Koshevaya I., Kostenko E. Research and optimization of the eddy current transducer of dielectric coating thickness on metal surfaces of products. Ukrainian metrological journal. 2020. no 2, P.33 - 39. DOI: 10.24027/2306-7039.2.2020.208935.
28. Koshevoy N. D., Zabolotniy A. V., Koshevaya I. I. Sintez optimalnykh po stoimostnyim ili vremennyim zatratam planov drobnogo faktornogo eksperimenta. Otkrytyie informatsionnyie i kompyuternyie integrirovannyye tehnologii. – 2016. – Vyip. 72. – pp. 177-182.
29. Koshevoy N. D., Dergachov V. A., Pavlyk A. V., Zabolotnyi O. V., Koshevaya I. I., Kostenko E. M. The method of building plans of multifactorial experiments with minimal number of factor levels measurements and optimal by cost(time) expenses. Radio Electronics, Computer Science, Control. 2020. no 4, P.55-64. DOI: 10.15588/1607-3274-2020-4-6.
30. Koshevoy N. D., Chistikova Z. E., Belmega A. V. Optimizatsiya mnogofaktornykh planov eksperimenta s primeneniem algoritma imitatsii otzhiga i blizhayshego soseda. East European Scientific Journal. – Warsaw, Poland, 2016. – Vol. 2 (6). – pp. 115-118.
31. Koshevoy N. D., Belyaeva A. A. Primenenie algoritma tabu-poiska dlya minimizatsii stoimosti provedeniya mnogofaktornogo eksperimenta // Zb. nauk. pr. VIysk. In-tu KiYivsk. nats. un-tu Im. Tarasa Shevchenka. – 2016. – 5№2. – pp.116-122.
32. Koshevoy N. D., Stadnik A. S. Optimalnoe planirovanie eksperimenta v usloviyah ogranichennykh resursov // Zbirnyk naukovykh prats VIyskovogo Institutu KiYivskogo natsionalnoho unIversitetu Imeni Tarasa Shevchenka. – 2016. – Vip. 54. – pp. 230-235.
33. Koshevoy N. D., Kostenko E. M., Beliaeva A. A. Comparative analysis of optimization methods in the investigation of a weigh-measuring system and thermoregulatory. Radio Electronics, Computer Science, Control. 2018. no 4, P.179-187. DOI: 10.15588/1607-3274-2018-4-17.
34. Koshevoy N. D., Burleev O. L., Kostenko E. M. Sravnitelnyiy analiz metodov optimizatsii mnogofaktornykh planov eksperimenta. Avtomatizirovannyye sistemy upravleniya i priboryi avtomatiki. – Vyip. 150. – H.: Hark. nats. un-t radioelektroniki, 2010. – pp. 60–64.
35. Koshevoy N. D., Kostenko E. M., Muratov V. V., Kryukov A. M., Bilenko A. I., Morozov A. A. Sravnitelnyiy analiz metodov optimizatsii po stoimostnyim (vremennyim) zatratam planov polnogo faktornogo eksperimenta. Radioelektronika, Informatika, upravlinnya: naukoviy zhurnal. – 2020. – № 1. – S. 54-62. DOI: 10.15588/1607-3274-2020-1-6.
36. Koshevoy N. D., Kostenko E. M., Chuyko A. S. Sravnitelnyiy analiz algoritmov optimizatsii kompozitsionnykh planov vtorogo poryadka // Zb. nauk. pr. vIysk. In-tu KiYivskogo nats. un-tu Im. Tarasa Shevchenka. – Vip. 30. – K., 2011. – pp. 40–45.
37. Koshevoy N. D., Koshevaya I. I., Kostenko E. M. Sravnitelnyiy analiz metodov sinteza optimalnykh po stoimostnyim (vremennyim) zatratam planov mnogofaktornogo eksperimenta. Zbirnyk // naukovykh prats.

Vl'skovogo Institutu KiYiv'skogo natsionalnogo un'iversitetu ImenI Tarasa Shevchenka. – K., 2016. – №54. – pp.33-39.

38. Koshovyi M. D., Kostenko O. M., Derhachov V. A., Burliev O. L., Chuiko O. S. Prohramni zasoby dl'ia optymizatsii planiv eksperymentu za chasovymy i vartisnymy vytratamy // Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoho hirnychoho universytetu. – D.: NHU, 2011. – Vyp. №36. – T. 1. –pp.76-82.

39. Koshevoy N. D., Kostenko E. M. Optimalnoe po stoimostnym i vremennyim zatratam planirovanie eksperimenta [Tekst]: monografiya. Nats. aerokosm. un-t im. N. E. Zhukovskogo «Hark. aviats. in-t». – H.: HAI; Poltava: Shevchenko R. V., 2013. – 316 pp. ISBN 978-966-8798-89-4.

40. Koshevoy N. D., Kostenko E. M., Chuyko A. S. Optimizatsiya kombinatornykh planov eksperimenta. // Zbl'nik naukovykh prats Natsionalnogo g'irnychoho un'iversitetu. – 2013. – № 43. – pp. 26-33.

41. Yuhimenko B. I. Modifikatsii metoda vetvey i granits dlya resheniya zadach tselochislennogo lineynogo programmirovaniya i ih effektivnost. Informatika ta matematichni metodi v modelyuvanni. – 2015. – T. 5, № 1. – pp. 84-91.

42. Elbeltagi E., Hegazy T., Grierson D. Comparison among five evolutionary-based optimization algorithms // J. Advanced Engineering Informatics, 2005, no. 19, pp. 43–53.

43. Zhao R., Tang W. Monkey Algorithm for Global Numerical Optimization. Journal of Uncertain Systems. – 2008. – V.2, no.3, pp.165-176.

44. Bastos-Filho C. J. A., Lima-Neto F. B., Lins A. J. C. C., Nascimento A. I. S., Lima M. P., Fish school search // Nature-Inspired Algorithms for Optimization. SCI. Springer. Heidelberg, 2009. Vol.193, pp. 261-277.

45. Larran Aga P., Kuijpers C. M. H., Murga R. H., Inza I. Genetic, Dizdarevic S. Algorithms for the Travelling Salesman Problem: A Review of Representations and Operators. Artificial Intelligence Review 13 – Netherlands: Kluwer Academic Publishers. – 1999 – pp. 129 - 170.

46. Shtovba S. Ant Algorithms: Theory and Applications. Programming and Computer Software, 2005. vol.31, pp. 167-178. DOI: 10.1007/s11086-005-0029-1.

47. Afaq A. Another Perspective in Generating and Using Gray Code-word. ElektriKa: Journal of Electrical Engineering, 2007. vol.9, no 2, pp. 49-55.

48. Zhang Z. Introduction to machine learning: k-nearest neighbors. Ann Transl Med. 2016; vol.4, №11, pp. 218-224. DOI: 10.21037/atm.2016.03.37.

**Doctor of Technical Science, Professor Koshevoy M. D., PhD Burliev O. L.
ANALYSIS OF METHODS FOR OPTIMAL DESIGN OF MULTIFACTOR EXPERIMENT IN
TERMS COST AND TIME CRITERIA**

The object of research is the analysis of the state of development of methods of optimal planning of multifactorial experiment on cost and time indicators. The subject of the research is the methods of optimization of multifactor experiment plans in terms of cost and time indicators. The objective: the development of practical recommendations for the application of existing optimization methods of multifactorial experiment plans in terms of cost and time criteria based on their comparative analysis. The tasks are the comparing of optimization methods of multifactorial experiment plans by characteristics: the allowable number of factors for effective optimization, type of plan, accuracy of the method, the number of optimization criteria, speed; development of practical recommendations for the use of these methods; the determine of directions for further development of the research topic. Methods: method of comparative analysis, optimization methods based on the study of nature, combinatorial optimization methods, graph optimization methods, approximate optimization methods. The results of study. The 20 methods of multifactorial experiment plans in terms of cost and time criteria are analyzed. The 6 practical recommendations for their application in the range of factors number $2 < k \leq 16$ are given. Conclusions. The scientific novelty of the obtained results is the improved comparative analysis of existing methods of multifactorial experiment plans based on 5 characteristics in terms of the experimenter's choice, namely: the allowable number of factors for effective optimization, type of plan, method accuracy, number of optimization criteria; speed-code. In the future, it is planned to study the classification of methods of multifactorial experiment plans, the development and improvement of two-criteria optimization methods for cost and time characteristics, the speed analysis of approximate optimization methods for $k > 7$ and their improvement.

Keywords: design of multifactorial experiment, accurate optimization methods, approximate optimization methods, optimization criteria, speed, two-criteria optimization.

ТЕХНІЧНІ НАУКИ
(оформлені за вимогою Web of Science та Scopus)

UDC.355.91

Alexander Myasishev
Doctor of Technical Science, Professor
Khmelnitsky Polytechnic College
Serhii Lienkov
Doctor of Technical Science, Professor
Military Institute of Taras Shevchenko National University of Kyiv
Vadym Ovcharuk
Doctor of Economic Science
Lviv Polytechnic National University
Igor Tolok
Ph.D.
Military Institute of Taras Shevchenko National University of Kyiv
Nataliia Lytvynenko
Ph.D., Senior Researcher
Military Institute of Taras Shevchenko National University of Kyiv
Andrij Zinchyk
Ph.D.
Military Institute of Taras Shevchenko National University of Kyiv
Olexander Lytvynenko
Ph.D.
Military Institute of Taras Shevchenko National University of Kyiv

**LARGE-CAPACITY QUADCOPTER'S DESIGNING ON THE CONTROLLERS
OF THE PIXHAWK CUBE FAMILY**

Abstract

The quadrocopter's design and configuration that capable to carry a payload of up to 30 kg based on the Pixhawk 2 Cube flight controller using Arducopter ver.4.1.5 firmware for FMUv3 devices was completed in the paper. For ensuring a flight range of 10-12 km, the using of 44000 mAh battery and payload of 10-15 kg is recommended. It has been established that when building large-sized copters, before setting up the PID controller, it's necessary to pre-configure the parameters that are used by the PID controller. The failure to do so will often cause the aircraft to crash on its first flight. These are motor thrust linearization parameters, acceleration values for different axes and filters that go to the input of the PID controller. Experimentally tested the stability of the quadrocopter's flight in windy weather in navigation modes for firmware Arducopter ver.4.1.5. At wind speeds up to 10 m/s with gusts up to 14-15 m/s, the flight stability was noted in automatic mode and in automatic return to the starting point mode. The high accuracy of the operation of the Ardupilot firmware navigation system was established when the cargo drop point was reached in automatic mode. The error was no more than 1.0-1.5 m at wind speed of 6-7 m/s. The effectiveness of mechanical vibration isolation for flight controllers of the Pixhawk Cube family has been experimentally established. When installing them on the frame of the copter, there is no need to use mechanical vibration decoupling. However, taking into account the low frequency of the frame oscillations from the operation of the propeller group (about 30 Hz), it's necessary to design the frame with the frequency of natural oscillations outside this range. The using of software dynamic notch filters to reduce the impact of vibrations from running motors on the readings of the accelerometer and gyroscope is considered. On the frame of 2000 mm quadrocopter, it's shown that such filters significantly reduce the amplitude of not only the detected fundamental frequency, but also their harmonics. The various ways of

setting up actuators controlled by servos and relays for dropping loads, switching operating modes by video systems, switching on and off spraying mechanisms when using such drones in agriculture are considered. Keywords: GPS receiver, UAV, ESC controller, Failsafe, Arducopter, Ardupilot, Pixhawk Cube, FMUv3, notch filter, Mission Planner, STM32F427, X11 HobbyWing.

Introduction

Currently, the using of high-capacity drones is very relevant. They are used, for example, for delivering goods along a given route, spraying agricultural fields with plant protection products [1, 2, 3]. To address these issues, the unmanned aerial vehicles (UAVs) of rotary type can be used [1]. These are quadcopters, hexacopters or octocopters, depending on the tasks, the weight of the transferred load and the reliability of cargo delivery [4]. So it's known that if one of the hexacopter motors fails, it remains controllable and its accident-free landing with an expensive cargo is possible. If one of the quadcopter's motors is damaged, it loses stability and collapses upon impact with the ground.

For performing these tasks, the UAV must fly not only in manual mode according to FPV [6] but also in automatic mode. For example, to fly along the given trajectory, turn on and off the pump during spraying, drop cargo at given coordinates to determine the certain (given) flight trajectory, etc. The ground station software must ensure the formation of the flight path, control the actuators, transmit telemetry data between the aircraft and the operator [5]. On the other hand, the flight controller software must ensure the stable flight of the drone under changing external influences (for example, with gusts of wind). Such drones should be easily controlled from the control panel in manual mode using a video system, provided that the drone isn't within sight, but, for example, at the distance of 6-7 km. The software of the video system and the flight controller should superimpose telemetry data (speed, flight altitude, battery charge, distance from the launch point, distance traveled, coordinates, direction to the launch point) on the video screen of the operator's helmet for maximum control over the UAV flight at any time of the day [7].

Materials and methods

For solving the problems described above, it's very important that the UAV maintains navigation flight modes and is as a resistant to changing external influences as possible. Therefore, the flight controller firmware must use mathematical models that are able to provide maximum flight stability. The paper considers the construction of the quadcopter and its configuration for the Arducopter [8] firmware, that is currently the most stable of the firmware with freely distributed code. This code can be modified by users. The adjustment is carried out experimentally with the large number of parameters, including the setting of PID controllers, that determine the stability of the copter with the given geometric parameters as well as the parameters of the propeller group. The Arducopter firmware mainly runs on Pixhawk [9] family controllers. The feature of this firmware is that it allows you to create scripts in LUA for more flexible drone control.

This article focuses on building a heavy-duty quadcopter with 40" propellers and motors greater than 5kW. For aircraft of this size, significant low frequency vibrations are possible. Autopilots are equipped with vibration-sensitive accelerometers. The values obtained by the accelerometer are combined with data from the gyroscope, barometer and GPS receiver to estimate the position of the UAV. Due to excessive vibrations, position estimation may be impaired. This results in very poor performance in modes that depend on precise positioning [10]. Therefore, the software of the flight controller should include mathematical models that make it possible to identify the frequencies of the highest vibrations and exclude them using notch filters [11, 12].

The Ardupilot firmware uses the Enhanced Kalman Filter (EKF) [13] algorithm based on gyroscope, accelerometer, compass, GPS, airspeed and barometric pressure sensors to estimate the position, speed and attitude of the vehicle. To maintain a stable horizontal position of the drone, the firmware uses mathematical models of PID controllers. Moreover, epy different versions of Ardupilot firmware use modifications of the Kalman filter. For example, Arducopter ver.4.1.5 uses the Enhanced Kalman Filter 3 (EKF3) algorithm, that provides more accurate way to combine data from IMU, GPS,

compass, airspeed sensor, barometer and other sensors. It allows to perform more accurate and reliable assessment of the UAV's position for ensuring together with the PID controllers, a more stable flight compared to the EKF, EKF2 versions.

For the stable flight of the copter, it's also necessary to reduce the vibration amplitude, that is the characteristic of the engines (propellers) operation that rotate during flight. The purpose of vibration dampening is to reduce the vibration of the flight controller, that houses the barometer, gyroscope, and accelerometer. For dampening vibrations in UAVs, the mechanical vibration dampers are widely used. The paper considers and analyzes the using of notch filters for furthering eliminate vibrations. It's the software low-pass filter that removes most of the vibration noise left after the mechanical filter, but leads to less sensitivity of the drone when manually controlled by the control system. In the paper, the dynamic notch filters are adjusted to the range, related to the engine speed for the drone. For their analysis, the mathematical apparatus of the discrete Fourier transform is used, the application of that is covered in [14]. In the paper, for the given drone geometry, flight weight, propeller group of the drone, through numerous experimental tests, the parameters of the above mathematical models are selected to ensure stable flight.

Results

The paper uses the Pixhawk2 Cube flight controller, that is based on the FMUv3 equipment, that is open to distribution and change [15, 16]. The Pixhawk 2 Cube main features are Processor: 32-bit STM32F427 Cortex-M4F core with FPU, the clock speed of 168 MHz, 256 KB RAM, 2 MB flash, 32-bit STM32F103 co-processor, used in case of main processor failure.

The sensors are three redundant IMUs (acceleration, gyroscope and compass): MPU9250 and as the first and third IMU (acceleration and gyroscope); ST Micro L3GD20+LSM303D or ICM2076xx as a backup IMU (acceleration and gyroscope); two redundant barometers MS5611.

The interfaces are 14 PWM servo outputs, 5 general purpose serial ports, control system receiver inputs for PPM, S.Bus; 2 I2C ports, CAN bus interface, S.bus servo output.

The controller is installed on the quadrocopter with aluminum frame, with diagonal dimension of 2000 mm between the motor axes. The copter is also equipped with: motor X11 HobbyWing - 95kv; two-bladed propeller 40x132; regulator ESC 150A; GPS module Radiolink Mini SE100 with compass and M8N receiver; FPV unit with 1200 mW video transmitter; MininOSD; analog video camera Foxeer Micro Cat 3; SIYI FT24 control equipment receiver FR Receiver; two 12S rechargeable batteries with total capacity of 44000 mAh. As an experiment, the four-channel reset system was installed on the copter, assembled on the basis of four digital servos with increased torque. A relay system is also used to switch between the two video systems installed on the aircraft.

Voltage(V) 工作电压	Propeller 螺旋桨	Throttle (%) 油门	Thrust(g) 拉力	Current(A) 电流	Power(W) 输入功率	Speed(RPM) 转速	Efficiency(g/W) 效率
53.6V (14S LIPO)	40132 Inch Foldable Propeller	40%	5935	10.0	538.8	1591	11.01
		45%	7405	13.7	734.5	1777	10.08
		50%	9245	18.7	1007.7	1982	9.17
		52%	10035	21.1	1134.0	2063	8.85
		54%	10765	23.4	1255.2	2134	8.58
		56%	11775	26.6	1430.2	2227	8.23
		58%	12555	29.2	1571.1	2297	7.99
		60%	13470	32.4	1742.8	2375	7.73
		62%	14515	36.2	1947.4	2462	7.45
		64%	15145	38.6	2075.2	2512	7.30
		66%	16015	42.0	2257.5	2581	7.09
		68%	17305	47.3	2540.5	2680	6.81
		70%	18245	51.3	2756.5	2751	6.62
		75%	20955	63.9	3429.0	2945	6.11
80%	23480	76.9	4126.5	3116	5.69		
90%	29445	113.0	6064.1	3476	4.86		
100%	34285	147.5	7909.7	3740	4.33		

Fig. 1 The motor characteristics X11

The HOBBYWING X11 MOTOR motors installed on the quadcopter have the characteristics presented in the table in Fig. 1. The values in the table are valid for 40x132 propeller and battery voltage of 53.6 V (14S LIPO). The maximum thrust developed by the motor at the current of 147.5 A

corresponds to 34 kg. However, its efficiency at this current is almost 3 times less than at the current of 10 A. Therefore, it's practically recommended to use these motors with an axial thrust of no more than 15 kg, that corresponds to the current of 38 A and an efficiency of 7.4 G/W. With such thrust, the stable position of the copter is ensured under dynamically changing external influences (for example, the gusty wind). The optimal flight weight of the quadcopter with such motors is 60 kg. The weight of the quadcopter with 44000 mAh batteries without payload is about 30 kg. The flight tests have shown that with payload of 10 kg and flight speed of 11 m/s, the copter is able to fly up to 5 km in the straight line from the launch point and return back. The wind speed shouldn't exceed 5 m/s, and the flight height shouldn't exceed 130 m. According to Fig. 1, the efficiency of the propeller-motor group here is about 9 G/W. The further increase in the payload requires an increase in the capacity and, therefore, the weight of the battery for the same range, that leads to the decrease in efficiency and may not give the noticeable effect when carrying cargo over long distances.

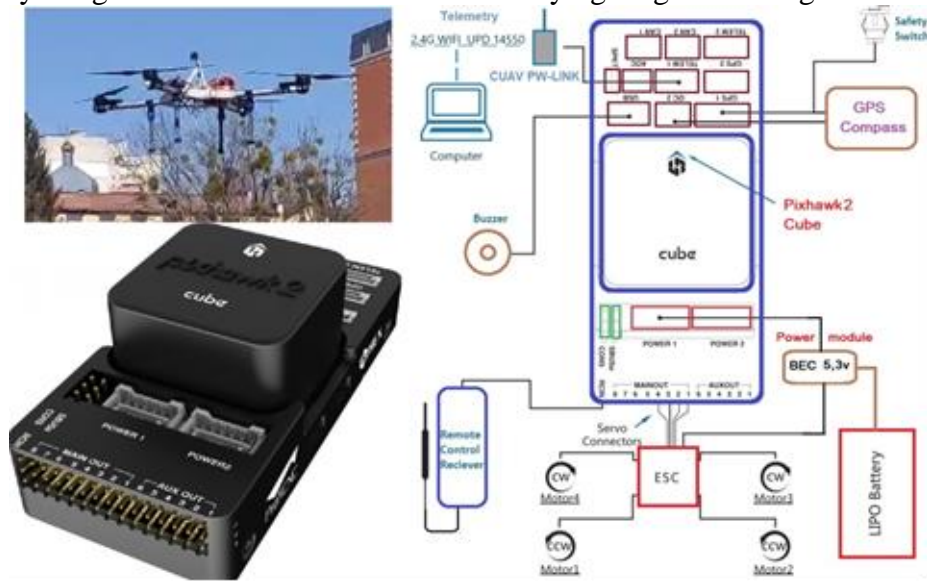


Fig. 2 The high-capacity quadcopter flight photo, flight controller and wiring diagram

Fig. 2 shows photos of the aircraft in flight and the Pixhawk Cube flight controller, the simplified block diagram of the connection of the flight controller with the power system, telemetry, magnetometer, GPS receiver, control system receiver, ESCs and motors. The figure doesn't show the connection of the reset system's servo drives and the relay switching of two video systems, however, the paper discusses the software method for setting them up.

The flight controller firmware is configured using the Mission Planner program [17]. For the Pixhawk 2 Cube, Arducopter 4.1.5 firmware is selected (the latest at the time of this paper), FMUv3 equipment (Fig. 3).

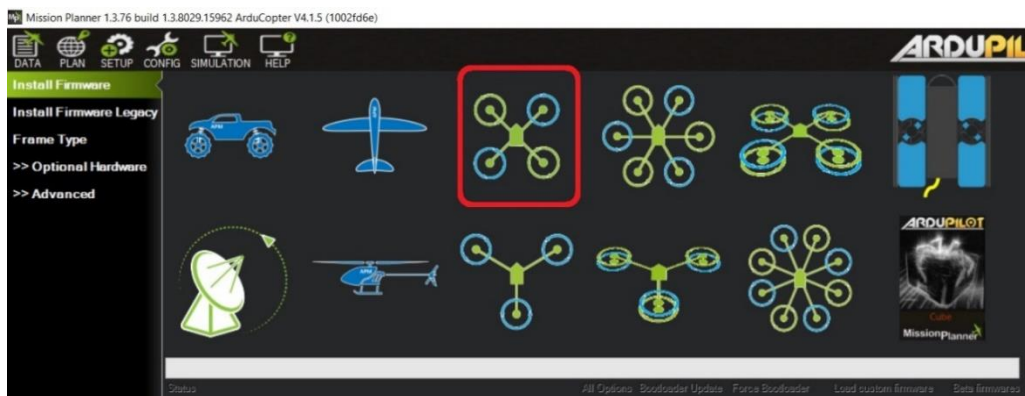


Fig. 3 The quadcopter firmware for Pixhawk 2 Cube

Next, the frame type is selected and the accelerometer, compass, and control equipment are calibrated [18]. The flight modes are set. The Fig. 4 shows the combination of tabs for these settings. It should be noted that it's advisable to calibrate the magnetometer at the place where the copter is launched by rotating it along six axes until Mission Planner displays a message about the end of the calibration. The direction of the magnetometer in the GPS module must match the direction arrow on the flight controller. For X11 HobbyWing motors, ESC adjustment isn't carried out.



Fig. 4 The Tab combination for flight controller settings

The FailSafe configuration is done in the FailSafe tab. It's only performed for the radio remote control. In case of connection's loss with the remote control, the return to the trigger point mode is activated - Enabled always RTL.

Let's consider the parameters that need to be selected based on the recommendations of the Ardupilot firmware developer and subsequent numerous flight tests [19]. These parameters are important for building large quadcopters. The incorrect selection of these parameters often results in the aircraft tipping over.

It's important that the thrust curve of the vertical takeoff and landing aircraft engines is as linear as possible. The linear thrust curve means that changes in the actual thrust generated by the engine are directly proportional to the thrust required by the Ardupilot software. If the thrust curve is highly non-linear, then further selection of the Ardupilot parameters will not allow the correct setting, that can lead to the unstable copter in flight and its further crash. The most common three causes of the non-linear thrust curve are: the voltage drop when increasing the throttle on the control panel; the incorrect setting of the endpoints of the range of PWM ESC regulators; the non-linearity of thrust generated by the propeller, ESC and motor.

In the paper, the parameters used to linearize the engine thrust curve were set as follows:

MOT_BAT_VOLT_MAX: $4.2V * \text{number of cells in LIPO BATTERY}$

MOT_BAT_VOLT_MIN: $3.3V * \text{number of elements in LIPO BATTERY}$.

The next step was to adjust the traction. In this case, the motor with the propeller was installed in the thrust stand with dynamometer, and the true thrust was accurately measured when the throttle position was changed. Next, the exponential value was adjusted so that the thrust between the end points was as linear as possible. Thus, the value of the MOT_THST_EXPO parameter was adjusted. It's an easier way to adjust this parameter depending on the diameter of the propellers. Fig. 5 shows the value of this parameter depending on the size of the propeller in inches. By default, the value of this parameter in the firmware is given for a 10-inch propeller.

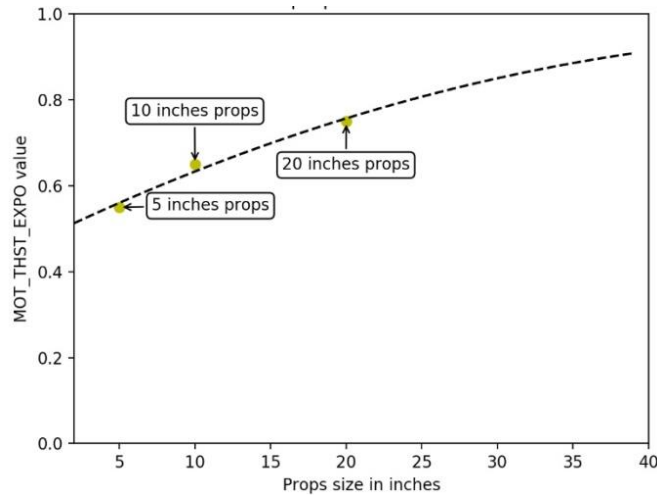


Fig. 5 The recommended values of the MOT_THST_EXPO parameter depending on the propeller diameter

The motor tuning. The engine parameters are determined by the PWM range that the flight controller sends to the ESC controller. It's important to ensure that the entire range of gas used in flight is within the linear range of the propulsion system. The following parameters are used to determine the output range sent to ESC:

MOT_PWM_MAX is the maximum PWM value to be output to the motors;

MOT_PWM_MIN is the minimum PWM value to be output to the motors;

MOT_SPIN_ARM determines the value at that the motors will reliably start after the aircraft's putting into the ARM state;

MOT_SPIN_MAX: 0.95 is the value of the parameter at that the thrust of the motors is maximum;

MOT_SPIN_MIN indicates the value at that the thrust starts. It's the first point of the motor's linear thrust range;

MOT_THST_HOVER: 0.25 is the actual percentage of motor thrust at that the copter is expected to hover.

The initial setting of the PID controller. Before tuning the PID controller, you must set the value of the following parameters. Otherwise, the default PID settings may cause the heavy-duty aircraft to crash. The value of these parameters are recommended by the creators of the Ardupilot firmware and are set depending on the diameter of the propeller. The final parameters are set during flight tests to ensure maximum flight stability.

The parameters presented below are the acceleration values for different axes and filters that go to the input of the PID controller. These parameters are critical for tuning as they directly affect the PID controller.

The filter cutoff frequency for accelerometers INS_ACCEL_FILTER is 10Hz.

The filter cutoff frequency for gyroscopes INS_GYRO_FILTER is 20Hz for 20 inch props (Fig.6).

The maximum acceleration along the axes (Fig. 6) are:

ATC_ACCEL_P_MAX – 20000 for 30 inch props;

ATC_ACCEL_R_MAX – 20000 for 30 inch props;

ATC_ACCEL_Y_MAX – 9000 for 30 inch props;

ACRO_YAW_P – $0.5 * ATC_ACCEL_Y_MAX / 4500$.

Other filtering options that are derived from INS_GYRO_FILTER:

ATC_RAT_PIT_FLTD – $INS_GYRO_FILTER / 2$;

ATC_RAT_PIT_FLTT – $INS_GYRO_FILTER / 2$;

ATC_RAT_RLL_FLTD – $INS_GYRO_FILTER / 2$;

ATC_RAT_RLL_FLTT – $INS_GYRO_FILTER / 2$;

ATC_RAT_YAW_FLTE – 2;

ATC_RAT_YAW_FLTT – INS_GYRO_FILTER/2.

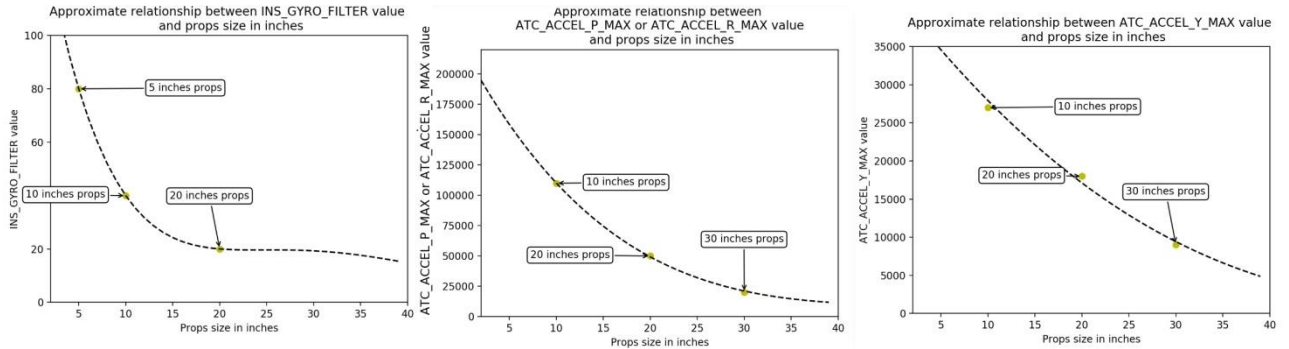


Fig. 6 The relationship between the propeller diameter and the parameters discussed above

After numerous flight tests, the PID controller parameters were set, that are presented in the Extended Turning tab (Fig. 7). It also shows the settings for some of the navigation flight modes (green box). For example, the waypoint speed is set to 11 m/s, the descent and ascent speed is set to 2.5 m/s. Some switches on the control equipment are set to flight modes and actions performed (orange box). For example, the sixth channel switch RC6 is set to return to the starting point, and channel RC9 works as a relay that switches two video systems.



Fig. 7 The PID controller parameters

The Pixhawk family of flight controllers use the AUX OUT 1...6 ports for controlling the actuators. By default, the first four are used to connect servos, the AUX OUT 5,6 is to connect relays. However, these pins can be changed to servo outputs by setting BRD_PWM_COUNT to 6 and RELAY_PIN and RELAY_PIN2 to -1. The servo actuation modes can be different. For example, operation directly from the control panel. However, if limited servo travel is required, the appropriate channel must be set on the control panel. For example, the minimum value is 1250, the maximum is 1550. The second case, the servo setting is performed in the Camera Gimbal tab. In this case, the servo response range is configured in the flight controller. Moreover, each servo drive is assigned its own control equipment channel (Fig. 8). For example, the SERVO9 is assigned channel RC8. It should be noted that the AUX OUT ports 1...6 correspond to the SERVO9...14. The servo can be assigned as Gripper. It's necessary for that:

- to set the output to RC, for example, the RC7 (7th channel) and to set the SERVO13_FUNCTION parameter to 28. In this case, the AUX OUT 5 on Pixhawk is used (Fig. 8);
 - the GRIP_ENABLE parameter to 1 to enable the capture function, after that you need to reload Pixhawk;
 - the GRIP_TYPE to 1 to enable servos in grip mode;
 - the GRIP_GRAB to the PWM value (i.e. 1000 ... 2000) for closed grip position;
 - the GRIP_RELEASE to the PWM value for grip open position.
 - the GRIP_NEUTRAL to the PWM value for the grapple's neutral position (usually the same as its closed position).
- In the paper, the Gripper is tied to SERVO13 and RC7 (Fig. 8).



Fig. 8 The configuring flight controller pins for servo operation

In the paper, the switching between two video systems is performed using the relay output of the flight controller AUX OUT 6. For this, the BRD_PWM_COUNT parameter is set to 5. In the Standard Params tab, the AUXOUT6 is turned on at the Second Relay Pin (RELAY_PIN2) (Fig. 9).

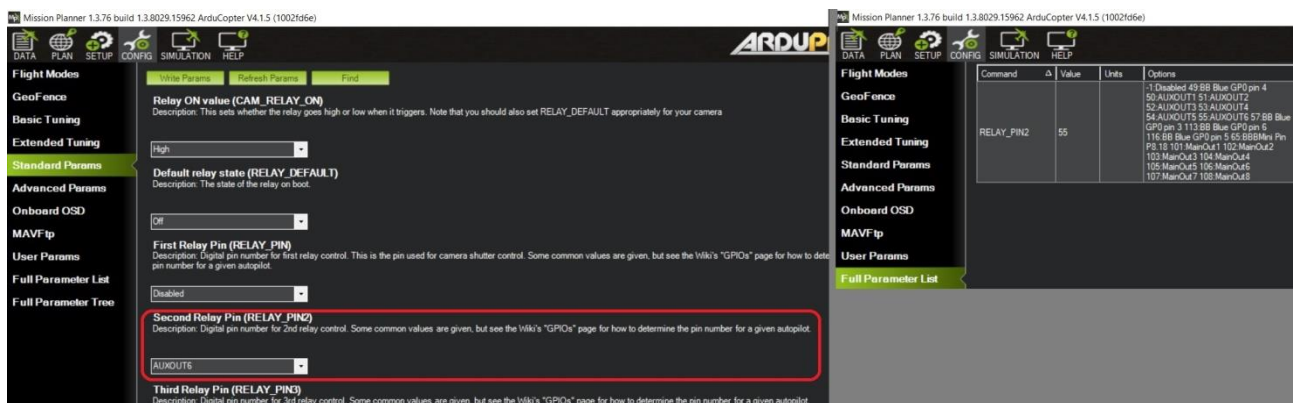


Fig. 9 The setting of the relay output to AUX OUT 6

After that, the value of the RELAY_PIN2 parameter will become equal to 55 (Fig. 9). For ensuring the stable flight, it's important to reduce the vibration amplitude, that is the characteristic of the propeller's operation - the motor group. For this purpose, the flight controller is usually mounted on the frame using damping pads. However, the Pixhawk Cube family of flight controllers have the very effective damping pad, so they are rigidly attached to the frame. When assembling the original aluminum frame, the strong vibration was observed, that was apparently related to the natural frequency of the frame. The slight increase in the length of the beams of the frame led to the change in its oscillation frequency. After that, the flight vibration decreased to an acceptable value.

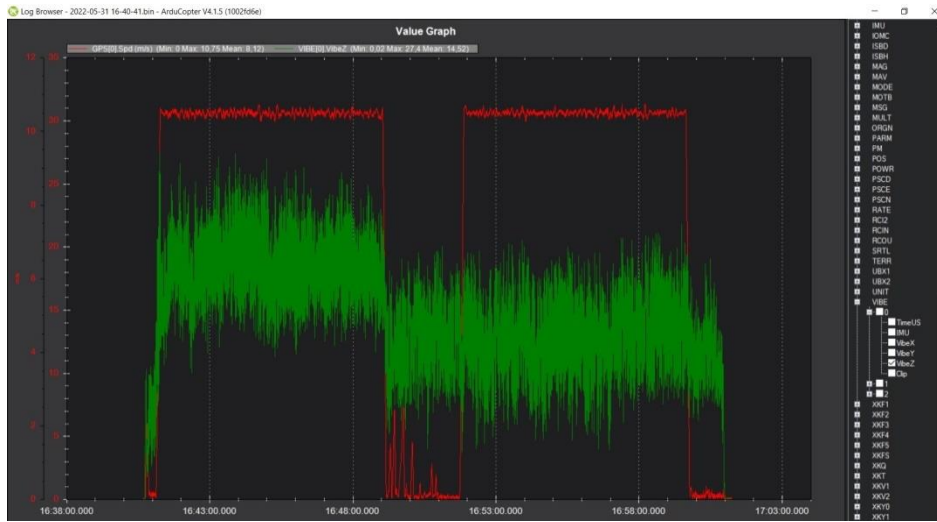


Fig. 10 The vibration pattern of the quadrocopter when flying at the distance of 10 km against and downwind

To remove additional vibration noise that cannot be removed using mechanical dampers inside the flight controller, the software filtering was used in the paper, that is implemented in the Ardupilot firmware. This is the notch filter that targets the frequency band generated by the rotation of the motors. The dynamic notch filters are the set of several filters placed on the harmonics of the fundamental frequency of the filter. Therefore, with proper tuning, the harmonics of the fundamental oscillation frequency can also be weakened. The basis for the operation of the dynamic notch filter is the control of its center frequency of motors rotation.

The paper considers the method based on the position of the throttle valve. In this case, the mid-throttle frequency is determined by analyzing the logs. The change in throttle position above the average value is used to monitor an increase in vibration noise frequency. Fig. 11 shows the amplitude plots for the gyroscope and accelerometer before and after the use of notch filters. For example, for an accelerometer, the amplitude of vibration oscillations decreased by more than 50 times at the frequency of about 30 Hz.

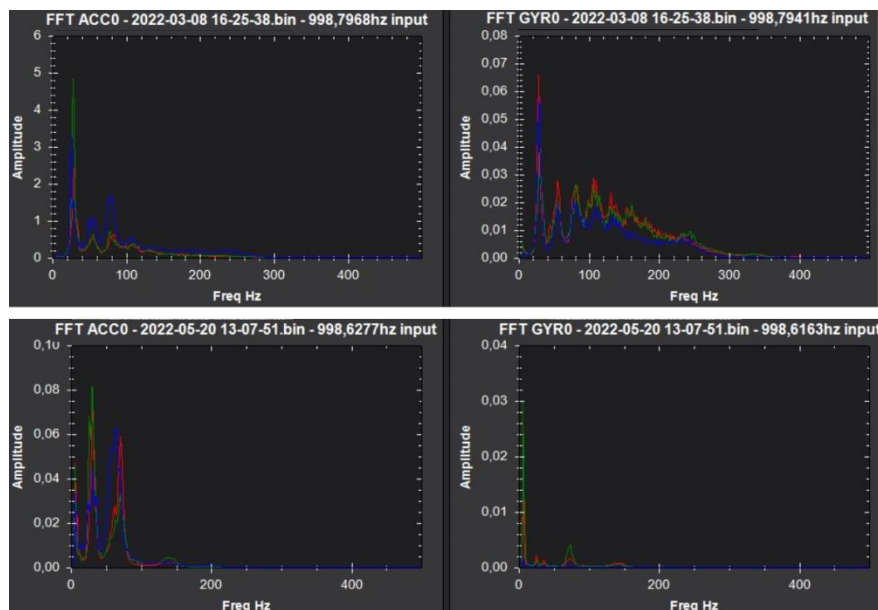


Fig. 11 The changing of the oscillation amplitude before and after the application of notch filters

A simple flight mission compiled using the Mission Planner ground station to test the copter flight over the distance of 10 km with payload drop from the height of 120 m is shown in Fig. 12.

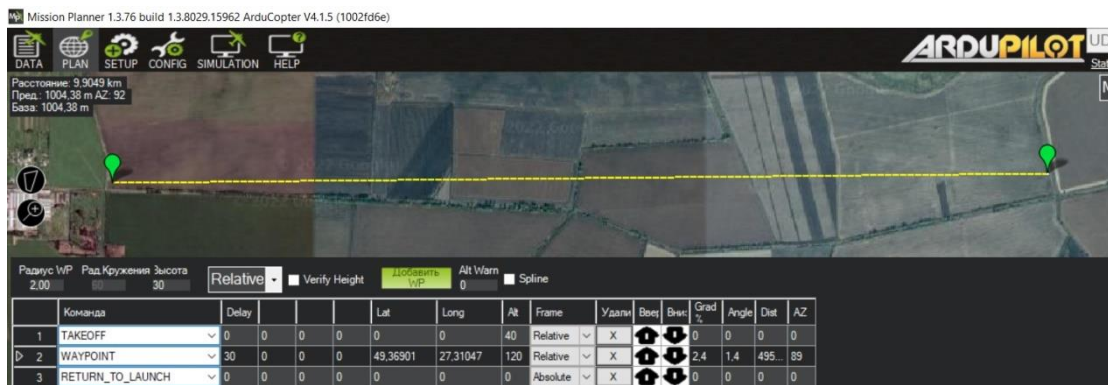


Fig. 12 The flight mission of the designed quadrocopter at the height of 120 m with cargo drop

Conclusions

1. The design and configuration of the quadrocopter capable of carrying a payload of 10-15 kg at a speed of 38-40 km/h for 20-25 min, based on the Pixhawk 2 Cube flight controller using the Arducopter ver.4.1.5 firmware for FMUv3 devices, has been completed.
2. When building large quadcopters, before setting up the PID controller, it's shown that it's necessary to perform preliminary tuning of the parameters that are used by the PID controller. The failure to do so will often result in the large aircraft crashing on its first flight. These are motor thrust linearization parameters, acceleration values for different axes and filters that go to the input of the PID controller.
3. Experimentally tested the stability of the flight of the quadrocopter in windy weather in navigation modes for firmware Arducopter ver.4.1.5. At wind speeds up to 10 m/s with gusts up to 14-15 m/s, the flight stability was noted in automatic mode and in automatic return to the starting point mode.
4. The high accuracy of the Ardupilot firmware navigation system was established when the cargo drop point was reached in automatic mode. The error was no more than 1.0-1.5 m at a wind speed of 6-7 m/s.
5. The efficiency of mechanical vibration isolation of flight controllers of the Pixhawk Cube family has been experimentally established. When installing them on the frame of the copter, it's no need to use mechanical vibration decoupling. However, taking into account the low frequency of the frame oscillations from the operation of the motors (about 30 Hz), it's necessary to design the frame with the frequency of natural oscillations outside this range.
6. The using of software dynamic notch filters to reduce the impact of vibrations from running motors on the readings of the accelerometer and gyroscope is considered. On the frame of 2000 mm quadcopter, it's shown that such filters significantly reduce the amplitude of not only the detected fundamental frequency, but also harmonics.
7. The various ways of setting up actuators controlled by servo drives and relays for dropping loads, switching operating modes by video systems, switching on and off spraying mechanisms when using such drones in agriculture are considered.

References

- [1] Boyko, A. (2017) *Areas of Drone's Application*. [Online]. Available from: <http://robotrends.ru/robopedia/oblasti-primeneniya-bespilotnikov> [Accessed 15th March 2021].
- [2] *Modernized Spectator drone from OJSC "Meridian" named after SP Korolyova*. (2019). [Online]. Available from: https://www.youtube.com/watch?time_continue=6&v=HvLErmgBRX4&feature=emb_logo [Accessed 15th March 2021].

- [3] *Spectator (UAV)*. (2020). [Online]. Available from: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Сpectator_\(БПЛА\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Сpectator_(БПЛА)) [Accessed 16th March 2021].
- [4] Boyko, A. (2019). *Spraying Plants from Drones*. [Online]. Available from: <http://robotrends.ru/robopedia/opryskivanie-rasteniy-s-bes-pilotnikov> [Accessed 16th March 2021].
- [5] *Copter Mission Command List*. (2020). [Online]. Available from: <https://ardupilot.org/copter/docs/mission-command-list.html> [Accessed 16th March 2021].
- [6] *FPV Piloting Theory*. (2021). [Online]. Available from: <https://github.com/mlutskiy/pioneer-doc/blob/master/database/pilot-module/pilot-3part.rst> [Accessed 16th March 2021].
- [7] Lienkov, S., Myasishev, A., Banzak, O., Husak, Y., Starynski, I. (2020) Use of Rescue Mode for UAV On the Basis of STM32 Microcontrollers. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, 9(3), 3506-3513.
- [8] *ArduPilot Firmware*. (2020). [Online]. Available from: <https://firmware.ardupilot.org/> [Accessed 21th March 2021].
- [9] *Pixhawk Overview*. (2020). [Online]. Available from: <https://ardupilot.org/copter/docs/common-pixhawk-overview.html> [Accessed 21th March 2021].
- [10] *Copter Mission Command List*. (2020). [Online]. Available from: <https://ardupilot.org/copter/docs/mission-command-list.html> [Accessed 21th March 2021].
- [11] *Betaflight Filter Settings: Tuning Filters with Blackbox Explorer*. [Online]. Available from: <https://lenorde-fpv.com/betaflight-filter-settings-part1/> [Accessed 21th March 2021].
- [12] *Managing Gyro Noise with the Static Notch and Dynamic Harmonic Notch Filters*. (2021). [Online]. Available from: <https://ardupilot.org/copter/docs/common-imu-notch-filtering.html#common-imu-notch-filtering-static-notch> [Accessed 21th March 2021].
- [13] *Extended Kalman Filter (EKF)*. (2020). [Online]. Available from: <https://ardupilot.org/copter/docs/common-ahk-navigation-extended-kalman-filter-overview.html> [Accessed 24 March 2021].
- [14] *Measuring Vibration with IMU Batch Sampler*. (2021). [Online]. Available from: <https://ardupilot.org/copter/docs/common-imu-batchsampling.html> [Accessed 24th March 2021].
- [15] *mRo Pixhawk Flight Controller*. (2016). [Online]. Available from: https://docs.px4.io/master/en/flight_controller/mro_pixhawk.html [Accessed 24th March 2021].
- [16] *Hex Cube Black Flight Controller*. (2017). [Online]. Available from: https://docs.px4.io/master/en/flight_controller/pixhawk-2.html [Accessed 24th March 2021].
- [17] *Mission Planning*. (2021). [Online]. Available from: <https://ardupilot.org/copter/docs/common-mission-planning.html> [Accessed 24th March 2021].
- [18] Lienkov, S., Myasishev, A., Komarova, L., Lytvynenko, N., Shvab, V., Lytvynenko, O. Creation of a Rotor-Type UAV with Flight Controllers, Based On a ATmega2560 and STM32f405 Microprocessors. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, 8 (8), 4703-4710.
- [19] *Setting the Aircraft Up for Tuning*. (2022). [Online]. Available from: <https://ardupilot.org/copter/docs/setting-up-for-tuning.html> [Accessed 26th March 2021].
- [20] *Measuring Vibration*. (2021). [Online]. Available at from <https://ardupilot.org/planner/docs/common-measuring-vibration.html> [Accessed 26th March 2021].

ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ

УДК 351.74

к.пед.н. **Мацішин М.О.** (НАДПСУ)
к.псих.н. **Машталер А.М.** (НАДПСУ)
к.псих.н. **Олешко Д.О.** (НАДПСУ)
Міняйлук В.В. (В/Ч 1471)
д.т.н. **Бабій Ю.О.** (НАДПСУ)

DOI: <https://doi.org/10.17721/2519-481X/2022/75-12>

РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО РОЗВИТКУ СИЛ ТА ЗАСОБІВ ДЕРЖАВНОЇ ПРИКОРДОННОЇ СЛУЖБИ УКРАЇНИ ДЛЯ ДІЙ В УМОВАХ УСКЛАДНЕННЯ ВОЄННО-ПОЛІТИЧНОЇ ОБСТАНОVKИ

Ефективний розвиток військової сфери України в майбутньому вбачається можливим за умови інтеграції усіх військових формувань держави в об'єднану конструкцію з подальшим її перетворенням на цілісну систему воєнної організації держави. При цьому особливу увагу варто приділяти створенню єдиних підсистем забезпечення її життєдіяльності. Мінливість та невизначеність сучасної геополітичної обстановки в глобальному і регіональному масштабах висуває нові вимоги до забезпечення національної безпеки України та адекватності її воєнно-політичної моделі загрозам та викликам сьогодення. Кожен збройний конфлікт примушує корегувати моделі застосування органів (підрозділів) військових та правоохоронних формувань, зокрема і Державної прикордонної служби України, повномасштабна збройна агресія російської федерації на території України не виключення. В реаліях війни зростає роль та місце Державної прикордонної служби України, яка є важливою складовою забезпечення національної безпеки, та разом з іншими військовими формуваннями й органами державної влади складає ядро сектору безпеки і оборони України. Необхідність дослідження зазначеного питання, як складової частини теорії оперативного мистецтва Державної прикордонної служби України, викликана її істотними змінами в характері та змісті останніх війн і локальних конфліктів (військове протистояння в Чечні, російсько-грузинський конфлікт 2008 року, проведення операції Об'єднаних сил ("зібридна війна") на Сході України та збройне вторгнення росії на територію України 24 лютого 2022 року). Відсутність досліджень цього аспекту значно знижує ефективність функціонування Державної прикордонної служби України в умовах загострення воєнно-політичної обстановки, результативність її діяльності при виконанні завдань із забезпечення безпеки державного кордону. На підставі загальних режимів функціонування Державної прикордонної служби України у статті визначено основні завдання та надано рекомендації дій сил і засобів Державної прикордонної служби України в період ускладнення воєнно-політичної обстановки.

Ключові слова: ускладнення воєнно-політичної обстановки; Державна прикордонна служба України; сили та засоби Державної прикордонної служби України; збройний конфлікт.

Вступ та постановка проблеми. На жаль, в Україні існує певна невідповідність оборонної політики держави реаліям безпеки євразійського регіону, про що свідчить, зокрема, сьогоdnішній стан одного з основних її інструментів – Державної прикордонної служби України (далі – ДПСУ) як елемента забезпечення безпеки держави від зовнішніх ворогів, а, відповідно, й воєнної організації держави. Така ситуація пояснюється низкою факторів, що виникли в процесі взаємовпливу українського державотворення та в цілому політичної системи держав, з якими має спільні кордони Україна.

Роль, місце та функції ДПСУ у забезпеченні безпеки державного кордону були закладені ще у 1991 році та з прийняттям низки законодавчих документів [1–5]. Кожен новий збройний (воєнний) конфлікт примушує корегувати моделі застосування органів (підрозділів) військових та правоохоронних формувань, зокрема ДПСУ.

Аналіз останніх досліджень. Застосуванню сил та засобів прикордонного відомства в період ускладнення воєнно-політичної обстановки присвячено низка робіт [6–12], де

розглядалися питання застосування прикордонних військ України в період загострення воєнно-політичної обстановки та при підготовці та веденні оборонних операцій початкового періоду війни, у локальних війнах і збройних конфліктах початку XXI століття, операції Об'єднаних сил. Питання ефективного розвитку ДПСУ як правоохоронного органу спеціального призначення є актуальним як для науковців відомства, так і для фахівців державного та військового управління країни [6]. Наступним важливим моментом є визначення ролі й місця ДПСУ в системі національних інтересів України. Йдеться про необхідність розбудови держави та її інститутів не під конкретні особистості (групи), а під сформовані цілі й завдання, які випливають з чітко артикульованих національних інтересів.

Безумовно роль та місце ДПСУ зростає в умовах ускладнення воєнно-політичної обстановки, оскільки вона є важливою складовою забезпечення національної безпеки, та разом з іншими військовими формуваннями й органами державної влади складає ядро сектору безпеки і оборони України. Тому необхідність дослідження зазначеного питання, як складової частини теорії оперативного мистецтва ДПСУ, викликана її істотними змінами в характері та змісті останніх війн і локальних конфліктів. Зокрема відсутність досліджень цього аспекту значно знижує ефективність функціонування ДПСУ в умовах загострення воєнно-політичної обстановки, результативність її діяльності при виконанні завдань із забезпечення безпеки державного кордону.

Виклад основного матеріалу. Неконкретність проголошених пріоритетів розвитку українського суспільства залишається головною проблемою державотворення і національної безпеки. Наприклад, програми щодо реформування ДПСУ не завжди носять завершений характер, а здебільшого завершуються розробленням нових або носять формальне завершення.

Отже, ДПСУ на сучасному етапі розвитку потребує принципово нових підходів в розв'язанні існуючих проблем та науковообґрунтованої стратегії подальшого розвитку та реформування дійсно в правоохоронний орган спеціального призначення Європейського зразка. Тим більше, що нормативно-правові основи розробки були закладені ще в 2004 році Законом України “Про організацію оборонного планування”, який, окрім усього іншого, передбачає узгодження перспектив розвитку як Збройних Сил України (далі – ЗСУ), так й інших військових формувань Державною програмою розвитку.

Для розв'язання зазначених питань, перш за все, необхідно: встановити мінімально допустимий рівень воєнної безпеки України та законодавчо його закріпити; визначити співвідношення економічної доцільності та інтересів воєнної безпеки України, прийняти необхідне політичне рішення; подолати відставання нормативно-правового супроводження від реальних процесів розвитку військової сфери України.

Відповідно, ключовими напрямками розвитку ДПСУ на найближчу перспективу доцільно визначити: досягнення параметрів, які за своїми кількісно-якісними показниками спроможні своєчасно і ефективно виконувати покладені на неї завдання; формування нормативно-правового поля, адекватного реаліям внутрішнього та зовнішнього загострення політичної обстановки; створення умов для прогресивного розвитку ДПСУ в цілому; забезпечення належного фінансово-економічного супроводу намічених цілей.

Як показав досвід проведення ООС на території Донецької та Луганської областей, напрямок демілітаризації ДПСУ з військового органу мав помилковий та невиправданий характер. Однак її перетворення на невійськове формування не знімає з порядку денного питання протидії внутрішнім та зовнішнім загрозам воєнного характеру. Навпаки, наявність повномасштабного збройного вторгнення російської федерації тільки актуалізує його та передбачає вирішення збройного конфлікту силовими методами. Проведення воєнних акцій та операцій потребує високого рівня взаємодії відомства з підрозділами ЗСУ, Національної гвардії України та іншими військовими формуваннями та правоохоронними органами. Особливо слід звернути увагу на специфічні окремі цивільні організації, зокрема створені обласні військові адміністрації. Не слід виключати громадські та волонтерські організації.

Традиційно в системі воєнної безпеки України ДПСУ відводиться реалізація функцій зовнішньої спрямованості. Грунтуючись на нормативно-правових засадах воєнної політики України та враховуючи її оборонний характер, слід вважати базовою функцією ДПСУ – охорону та захист державного кордону.

Захист суверенітету, територіальної цілісності і недоторканності повністю визначає призначення ДПСУ. Крім цього, на підрозділи ДПСУ спільно із ЗСУ покладається завдання з охорони повітряного і підводного простору в межах територіального моря України.

Отже, до основних завдань ДПСУ України при збройному конфлікті відносять: участь у забезпеченні стримання збройної агресії проти України та відсіч їй; забезпечення недоторканності повітряного, надводного і підводного простору в межах України.

Підрозділи ДПСУ можуть також залучатися до інших заходів згідно з чинним законодавством у межах, визначених указами Президента України, які затверджуються Верховною Радою України.

Розвиток ДПСУ (враховуючи воєнно-політичну ситуацію та нинішні можливості держави) здійснюється за принципом оборонної достатності, шляхом створення невеликих за чисельністю, економічно необтяжливих, добре озброєних, боєздатних, мобільних, придатних до швидкого розгортання поліфункціональних сил, спроможних зробити гідний вклад у забезпечення регіональної та глобальної безпеки.

Результати аналізу наслідків порушення росією суверенітету і територіальної цілісності України, повномасштабної збройної агресії проти неї, анексії Криму, окупації ряду територій, дій зі дестабілізації суспільно-політичної обстановки на території нашої держави спонукають до серйозного перегляду організаційної будови ДПСУ. При цьому необхідно переглянути:

- оцінки воєнно-політичної обстановки, тенденції її подальшого розвитку та нових зовнішніх і внутрішніх воєнних загроз;

- джерела, масштаб та характер збройної агресії проти нашої держави чи збройного конфлікту всередині неї;

- місце та задачу під час участі у відсічі збройній агресії;

- напрями підготовки до здійснення охорони та захисту державного кордону оборони, захисту конституційного ладу, суверенітету, територіальної цілісності та недоторканності держави;

- пріоритети і напрями подальшого розвитку ДПСУ.

Відомо, що у минулому оновлення засад воєнної політики відбувалося за послідовною довготривалою процедурою, яка розпочиналася зміною Верховною Радою України певних законодавчих засад внутрішньої і зовнішньої політики нашої державі. Для прикладу, у 2010 році, замість раніше проголошеного курсу на євроатлантичну та європейську інтеграцію, пріоритетом було визначено позаблокову політику і курс на інтеграцію до Євросоюзу. Потім відповідним чином уточнювалися та Президентом України затверджувалися Стратегія національної безпеки і Воєнна доктрина України. На їх підставі протягом майже 1-2 років здійснювався оборонний огляд, за підсумками якого Главою держави схвалювався Стратегічний оборонний бюлетень України і лише потім опрацьовувалися та затверджувалися Концепція реформування і розвитку ДПСУ та відповідна Державна цільова програма.

Нині прибічники дотримання цієї “стандартної” процедури наголошують, що перегляд засад воєнної політики України, у тому числі пріоритетів і напрямів розвитку ДПСУ, має статися лише після законодавчого визначення позиції нашої держави щодо здійснення у майбутньому курсу на вступ до НАТО. Однак, сам факт проголошення того чи іншого курсу зовнішньої політики щодо НАТО суттєво не впливає на обороноздатність держави. Підтвердженням такого висновку є негативний досвід російсько-грузинської війни 2008 року та збройна агресія росії проти нашої держави, широкомасштабний сценарій якої прогнозували вітчизняні та іноземні політики, військові керівники, зокрема НАТО, наукові установи та експерти.

Досі залишаються неврегульованими правові питання щодо застосування бойових підрозділів ДПСУ їх зброї і бойової техніки при захисті конституційного ладу, територіальної

цілісності та недоторканості держави, проведенні операції Об'єднаних сил, забезпеченні воєнного стану (надзвичайного стану) тощо як під час збройного конфлікту, так й у мирний час. Тому постає необхідність внесення відповідних змін у законодавство.

Поряд з цим, необхідно врахувати, що підрозділи ДПСУ неспроможні, з різних причин, протидіяти незаконним формуванням озброєних терористів та сепаратистів без відповідної допомоги підрозділів ЗСУ. Для його вирішення доцільно, зокрема, передбачити у проєкті нової Конституції положення щодо покладання на ЗСУ функцій не лише із забезпечення оборони держави, а й їх участі у захисті конституційного ладу, суверенітету, територіальної цілісності і недоторканості України.

Уточнення пріоритетів та напрямів розвитку ДПСУ повинно здійснюватися, насамперед, з урахуванням зміни масштабу та характеру воєнних загроз національним інтересам України і збільшення кількості функцій, які вони виконуватимуть у військовий час.

Виконання ДПСУ завдань із захисту кордонів держави під час збройного конфлікту російської федерації дають підстави для збільшення загальної чисельності особового складу та кількості їх озброєння і військової техніки та насамперед їх якості у відповідності до розвитку сучасних засобів збройної боротьби. Але цю загальну чисельність необхідно встановлювати з урахуванням існування Національної гвардії України, покладення на неї завдань щодо участі у взаємодії зі ЗСУ у відсічі збройній агресії проти України та ліквідації збройного конфлікту шляхом ведення воєнних (бойових) дій, а також у виконанні завдань територіальної оборони.

Важливим пріоритетом розвитку ДПСУ є забезпечення її належної підготовки до виконання завдань за призначенням. При цьому слід зосередити увагу на опрацюванні теорії та практики організації і ведення мобільної оборони, особливо у населених пунктах, у тому числі в нічних умовах.

Для удосконалення системи підготовки необхідно: оптимізувати структуру, удосконалити складові частини, форми та методи підготовки; змінити порядок використання навчальної матеріально-технічної бази, утворити потужний навчальний центр, оснащений сучасними комп'ютерними моделюючими системами, тренажерними комплексами та обладнанням; розробити стандарти підготовки та переліки завдань підрозділів, військових частин, органів військового управління; запровадити нову систему самооцінки та оцінки підрозділів, військових частин після завершення відпрацювання комплексу завдань з підготовки.

Враховуючи досвід введення ООС щодо застосування безпілотних літальних апаратів, так й боротьби з ними, перспективною буде система підготовки фахівців із застосування та експлуатації безпілотних авіаційних комплексів, яка повинна включати дві складові: систему підготовки із застосування та експлуатації безпілотних авіаційних комплексів тактичного рівня (поля бою); систему підготовки із застосування та експлуатації безпілотних авіаційних комплексів оперативно-тактичного, оперативного та стратегічного рівня.

Функціонування системи підготовки фахівців із застосування та експлуатації безпілотних авіаційних комплексів повинно регламентуватися відповідними нормативно-правовими документами та бути спрямоване на якісну підготовку потрібної кількості фахівців, спроможних ефективно виконувати штатні завдання за призначенням кожного типу безпілотної авіації у сучасних умовах ведення збройної боротьби.

При цьому, потрібно враховувати специфіку підготовки фахівців експлуатації та управління тактичними, оперативно-тактичними, оперативними та стратегічними безпілотними авіаційними комплексами.

Поряд з цим, необхідно готувати підрозділи ДПСУ до участі у проведенні спільно із ЗСУ, Національною гвардією та Службою безпеки України на початковому етапі воєнного конфлікту спеціальних операцій зі знешкодження сил противника, терористичних та інших незаконних збройних формувань.

Особливу увагу слід приділити розвитку факторів, що впливатимуть на мотивацію до військової служби в ДПСУ. Одним із головних пріоритетів розвитку ДПСУ залишається

оснащення модернізованим та новітнім озброєнням і військовою технікою. Але, нажаль, досі поза увагою держави залишаються питання забезпечення наших солдатів, сержантів та офіцерів необхідними для ведення бою сучасною екіпіровкою, бойовим спорядженням, засобами розвідки, зв'язку, навігації, життєзабезпечення тощо. Тому переозброєння ДПСУ необхідно було б здійснювати за двома напрямками.

Перший з них повинен передбачати спрямування у короткостроковій перспективі основних зусиль та переважної частки наявних ресурсів на оснащення:

кожного, хто вже перебуває в зоні ведення бойових дій оснастити сучасним комплектом індивідуальної екіпіровки, необхідним для ведення бою: захисним шоломом, бронежилетом, комплектом бойового спорядження, у тому числі для дій у ночі, засобами закритого зв'язку, навігації, розвідки та життєзабезпечення, медикаментами, продуктами, плащами, спальними мішками, палатками тощо;

підрозділи сучасними броньованими автомобілями класу MRAP (Mine Resistant Ambush-Protected, типу "Трітон" та "КрАЗ", призначеними для перевезення особового складу, спорядження та обладнання у районах бойових дій, виконання завдань вогневої підтримки, управління тощо), бронетранспортерами (типу БТР-4), протитанковими та переносними протиповітряними ракетними комплексами, засобами розвідки, закритого зв'язку, управління, навігації, життєзабезпечення тощо;

Другий напрям матиме на меті забезпечення у середньо- та довгостроковій перспективі оснащення ДПСУ новітніми засобами розвідки, автоматизованими системами управління підрозділами в ході ведення бою. При цьому варто жорстко дотримуватися наступної пріоритетності придбання необхідного для ДПСУ озброєння та військової техніки:

1. виготовлені або модернізовані підприємствами вітчизняної військової промисловості;
2. запропоновані нашими іноземними партнерами у сфері військово-технічного співробітництва, зокрема на безоплатній основі за програмами військової допомоги, зокрема, за американською програмою лендлізу.

Важливим пріоритетом має стати подальше активне впровадження європейських норм та принципів у функціонуванні ДПСУ.

При удосконаленні кадрового та морально-психологічного забезпечення ДПСУ необхідне впровадження сучасних принципів і підходів у кадровій політиці, забезпечення ефективного управління кар'єрою військовослужбовців, удосконалення структури та оптимізація чисельності кадрових підрозділів в регіональних управліннях.

Передбачається привести у відповідність до потреб ДПСУ та відповідних показників прикордонних відомств провідних європейських держав співвідношення категорій особового складу, насамперед офіцерського. Комплектування посад офіцерського складу здійснювати, зокрема, за рахунок осіб, які завершили навчання у вищих навчальних закладах та пройшли військову підготовку за програмою підготовки офіцерів запасу. Необхідно поступово сформувати професійний сержантський склад, який у перспективі виконуватиме частину функцій, пов'язаних із роботою з особовим складом, що сприятиме зміцненню військової дисципліни та викориненню негативних явищ у військових колективах.

Служба в резерві передбачатиме можливість залучення резервістів до виконання завдань у воєнний час, у тому числі і під час ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру. Комплектування ДПСУ доцільно здійснювати за змішаним екстериторіальним принципом. З метою удосконалення та підвищення ефективності морально-психологічного забезпечення передбачається:

підвищити ефективність соціально-психологічної роботи, забезпечити якісний професійно-психологічний відбір, військово-патріотичне, духовне виховання особового складу та соціально-психологічний супровід військової служби;

впровадити інноваційні інформаційні технології виховання.

Слід також періодично переглядати обсяги та створити необхідні військові й оперативні непорушні запаси боєприпасів, паливно-мастильних матеріалів, продовольства, речового та

іншого військово-технічного майна. Складним та витратним є завдання створення належної інфраструктури у щойно створених підрозділах.

Результати участі ДПСУ в ООС свідчать, що прикордонне відомство виявилось в багатьох випадках готовим якісно виконувати завдання в цих умовах. Однак, бойовий досвід показав деякі проблемні питання, які перешкоджали (знижували ефективність) протидії агресору. Тому, виникає потреба у наданні всебічного, критичного і, головне, об'єктивного аналізу службової-бойової діяльності ДПСУ, чіткому визначенні проблемних питань, та, на основі проведеного дослідження, визначення чітких, конкретних та діючих шляхів їх вирішення.

Вивчаючи дану проблематику, ми спиралися на аналітичну доповідь Національного інституту стратегічних досліджень за загальною редакцією професора В. П. Горбуліна [6]. Так, автори аналітичної доповіді визначають наступні проблеми у діяльності ДПСУ, які перешкоджали (знижували ефективність) протидії агресору:

1) на стратегічному рівні:

відсутність чіткої взаємодії між органами сектору безпеки і оборони. Плани щодо забезпечення прикриття державного кордону були не реалізовані, тому на початку збройної агресії прикордонні підрозділи діяли самостійно з використанням лише наявної стрілецької зброї;

недостатність, на початок гібридної агресії, на східних ділянках державного кордону підрозділів ЗСУ;

відсутність у особового складу ДПСУ важкого озброєння та техніки;

відсутність у відділах прикордонної служби та пунктах пропуску через державний кордон фортифікаційних та інженерних споруд, що робило їх уразливими від артилерійських обстрілів;

2) на оперативному та тактичному рівнях:

відсутність плануючих документів із бойового застосування в сучасних умовах на рівні органів та підрозділів (що призвело до недостатньої взаємодії з підрозділами ЗСУ та Національної Гвардії України);

відсутність важкого озброєння та техніки в органах та підрозділах охорони державного кордону;

відсутність підрозділів протидії деструктивним інформаційно-психологічним впливам;

відсутність у авіації ДПСУ засобів активного та пасивного захисту від засобів ураження противника;

неналежне забезпечення органів та підрозділів охорони державного кордону безпілотними авіаційними комплексами;

комплектування прикордонних підрозділів військовослужбовцями за територіальним принципом;

недостатній рівень військової складової у професійній підготовці особового складу;

відсутність підрозділів та фахівців з інженерного забезпечення.

Як наслідок неналежне обладнання місць несення служби у фортифікаційному відношенні, відсутність укриттів для особового складу, позицій для ведення кругової оборони, додаткових загороджень перед місцями дислокації прикордонних підрозділів.

Висновки та перспективи подальшого розвитку. Необхідно виокремити та розширити проблемні питання застосування сил та засобів ДПСУ під час участі в збройних конфліктах з урахуванням специфіки завдань, які виконує ДПСУ. Таким чином, пріоритетні завдання ДПСУ змістилися з правоохоронної площини у військову. Перспективами подальших досліджень вважаємо розробку методичного апарату для побудови моделей функціонування сил і засобів ДПСУ в умовах воєнного стану. Слід зазначити, що незважаючи на всі виклики і загрози, ДПСУ довела свій професіоналізм і з гідністю виконує поставлені завдання. В умовах обстановки, що швидко змінюється, враховуючи широке застосування різнорідних сил і засобів, способи дій ДПСУ постійно вдосконалюються.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Про Державну прикордонну службу України : Закон України від 03.04.2003 № 661-IV. *Відомості Верховної Ради України*. 2003. № 27. Ст. 208.
2. Про оборону України : Закон України від 06.12.1991 № 1932-XII. *Відомості Верховної Ради України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1932-12#Text> (дата звернення: 14.08.2021).
3. Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 25.03.2021 “Про Стратегію воєнної безпеки України” : Указ Президента України від 25.03.2021 № 121/2021. *Відомості Верховної Ради України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/121/2021#n2> (дата звернення: 13.08.2021).
4. Про стратегію національної безпеки України : Указ Президента України “Про рішення Ради національної безпеки і оборони України” від 14.09.2020 № 392/2020 “Про Стратегію національної безпеки України”. *Відомості Верховної Ради України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/121/2021#n2> (дата звернення: 13.08.2021).
5. Про правовий режим воєнного стану України : Закон України від 12.05.2015 № 389-VIII. *Відомості Верховної Ради України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/389-19> (дата звернення: 14.08.2021).
6. Горбулін В. П. Світова гібридна війна: український фронт : монографія. Харків : Фоліо, 2017. 496 с.
7. Шинкарук О. М., Мосов С. П., Кириленко В. А. Прикордонна безпека України: становлення, сучасний стан, проблеми і перспективи : монографія. Хмельницький : НАДПСУ, 2018. 187 с.
8. Івашков Ю. Б. Модель дій сил і засобів Державної прикордонної служби України в період ускладнення воєнно-політичної обстановки та загрозовий період. *Збірник наукових праць Центру воєнно-стратегічних досліджень Національного університету оборони України імені Івана Черняховського*. Київ : НУОУ, 2017. № 2. С. 116–120.
9. Івашков Ю. Б., Курніков В. В. Аналіз змісту, завдань та характерних рис прикордонних операцій на ділянці відповідальності регіонального управління Державної прикордонної служби України при загостренні воєнно-політичної обстановки. *Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України. Серія : Військові та технічні науки*. Хмельницький : НАДПСУ, 2018. № 1(75). С. 84–97.
10. Torichnyi V., Biletska T., Rybshchun O., Kupriyenko D., Ivashkov Yu., Bratko A. Information and propaganda component of the Russian Federation hybrid aggression: conclusions for developed democratic countries on the experience of Ukraine. *Trames: A Journal of the Humanities and Social Sciences*, 2022, no. 25 (3), pp. 355–368.
11. Bratko A., Zaharchuk D., Zolka V. Hybrid warfare – a threat to the national security of the state. *Revista de Estudios en Seguridad Internacional*, 2022, no. 7 (1), pp. 147–160.
12. Shynkaruk, O. N., Babii, Y. A., Kyrylenko, V. A., Kupriyenko, D. A., Farion, O. B., Babaryka, A. O. Conceptual and scientifically-methodical principles of realization of policy in the field of the State border security in Ukraine : collective monograph. Lviv-Toruń : Liha-Pres, 2019. ISBN 978-966-397-184-1.

REFERENCES:

1. Zakon Ukrainy “Pro Derzhavnu prykordonnu sluzhbu Ukrainy” № 661-IV [Law of Ukraine about the State Border Guard Service of Ukraine activity no. 661-IV]. (2003, 3 April). Vidomosti Verkhovnoyi Rady Ukrainy. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/661-15> (accessed 13 August 2021).
2. Zakon Ukrainy “Pro oboronu Ukrainy” № 1932-XII [Law of Ukraine “On the Defense of Ukraine” activity no. 1932-XII]. (1991, December 6). Vidomosti Verkhovnoyi Rady Ukrainy. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1932-12#Text> (accessed 14 August 2021).
3. Ukaz Prezydenta Ukrainy Pro rishennia Rady natsionalnoi bezpeky i oborony Ukrainy “Pro Stratehiiu voiennoi bezpeky Ukrainy” № 121/2021 [Decree of the President of Ukraine on the decision of the National Security and Defense Council of Ukraine "On the Strategy of Military Security of Ukraine" activity no. 121/2021]. (2021, March 25). Vidomosti Verkhovnoyi Rady Ukrainy. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/121/2021#n2> (accessed 13 August 2021).
4. Ukaz Prezydenta Ukrainy Pro rishennia Rady natsionalnoi bezpeky i oborony Ukrainy “Pro Stratehiiu voiennoi bezpeky Ukrainy” № 392/2020 [Decree of the President of Ukraine on the decision of the National Security and Defense Council of Ukraine "On the Strategy of Military Security of Ukraine" activity no. 392/2020]. (2020, September 14). Vidomosti Verkhovnoyi Rady Ukrainy.

5. Zakon Ukrainy “Pro pravovyi rezhym voiennoho stany Ukrainy” № 389-VIII [Law of Ukraine “On the legal regime of martial law of Ukraine” activity no. 389-VIII]. (2015, May 12). Vidomosti Verkhovnoyi Rady Ukrainy. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/389-19> (accessed 14 August 2021).

6. Horbulin, V. P. (2017), “Svitova hibrydna viina: ukrainskyi front” [World hybrid war: the Ukrainian front], Kharkiv, 496 p.

7. Shinkaruk, O. M., Mosov, S. P., Kirilenko, V. A. (2018), “Prykordonna bezpeka Ukrainy: stanovlennia, suchasnyi stan, problemy i perspektyvy” [Border security of Ukraine: formation, current state, problems and prospects]. Khmelnytsky, 187 p.

8. Ivashkov, Yu. B. (2017), “Model dii syl i zasobiv Derzhavnoi prykordonnoi sluzhby Ukrainy v period uskladnennia voienno-politychnoi obstanovky ta zahrozyvyi period” [Model of actions of forces and means of the State Border Guard Service of Ukraine in the period of complicating the military-political situation and the threatening period]. Collection of scientific works of the Center for Military Strategic Studies of the Ivan Chernyakhovsky National University of Defense of Ukraine, No. 2, pp. 116–120.

9. Ivashkov, Yu. B., Kurnikov, V. V. (2018),” Analiz zmistu, zavdan ta kharakternykh rys prykordonnykh operatsii na diliansi vidpovidalnosti Rehionalnoho upravlinnia Derzhavnoi prykordonnoi sluzhby Ukrainy pry zahostrenni voienno-politychnoi obstanovky” [Analysis of the content, tasks and characteristics of border operations in the area of responsibility of the Regional Department of the State Border Guard Service of Ukraine in the aggravation of the military-political situation]. Collection of scientific works of the National Academy of the State Border Guard Service of Ukraine. Series: Military and technical sciences, No. 1(75), pp. 84–97.

10. Torichnyi, V., Biletska, T., Rybshchun, O., Kupriyenko, D., Ivashkov, Yu., Bratko, A. (2021), Information and propaganda component of the Russian Federation hybrid aggression: conclusions for developed democratic countries on the experience of Ukraine. *Trames: A Journal of the Humanities and Social Sciences*, No. 25 (3), pp. 355–368.

11. Bratko A., Zaharchuk D., Zolka V. (2021), Hybrid warfare – a threat to the national security of the state. *Revista de Estudios en Seguridad Internacional*, No. 7 (1), pp. 147–160.

12. Shynkaruk, O. N., Babii, Y. A., Kyrylenko, V. A., Kupriyenko, D. A., Farion, O. B., Babaryka, A. O. (2019), Conceptual and scientifically-methodical principles of realization of policy in the field of the State border security in Ukraine : collective monograph. Lviv-Toruń : Liha-Pres. ISBN 978-966-397-184-1.

PhD Matsyshyn M. O., PhD Mashtaler A. M.,

PhD Oleshko D.O., Minyailuk V. V., Doctor of Technical Science Babiy Yu. A.

**RECOMMENDATIONS FOR THE DEVELOPMENT OF FORCES AND MEANS
OF THE STATE BORDER SERVICE OF UKRAINE FOR ACTION IN THE CONDITIONS OF
COMPLICATION OF THE MILITARY AND POLITICAL SITUATION**

Effective development of the military sphere of Ukraine in the future is considered possible under the condition of integration of all military formations of the state into a unified structure with its further transformation into an integral system of military organization of the state. At the same time, special attention should be paid to the creation of unified subsystems to ensure its viability. The variability and uncertainty of the current geopolitical situation on a global and regional scale makes new demands to ensure Ukraine's national security and the adequacy of its military-political model to the threats and challenges of today. Each armed conflict forces to adjust the models of use of bodies (units) of military and law enforcement agencies, including the State Border Guard Service of Ukraine, full-scale armed aggression of the Russian Federation in Ukraine is no exception. In the realities of the war, the role of the State Border Guard Service of Ukraine, which is an important component of national security, and together with other military formations and public authorities is the core of the security and defense sector of Ukraine. The need to study this issue as part of the theory of operational art of the State Border Guard Service of Ukraine is due to its significant changes in the nature and content of recent wars and local conflicts (military confrontation in Chechnya, Russian-Georgian conflict in 2008, Joint Forces operation). hybrid war”) in eastern Ukraine and the Russian armed invasion of Ukraine on February 24, 2022). The lack of research in this aspect significantly reduces the effectiveness of the State Border Guard Service of Ukraine in the context of aggravation of the military-political situation, the effectiveness of its activities in performing tasks to ensure the security of the state border. Based on the general regimes of the State Border Guard Service of Ukraine, the article identifies the main tasks and provides recommendations for the

actions of forces and means of the State Border Guard Service of Ukraine in the period of complicating the military-political situation.

Key words: complication of the military-political situation; State Border Guard Service of Ukraine; forces and means of the State Border Guard Service of Ukraine; armed conflict.

УДОСКОНАЛЕНА МЕТОДИКА СТВОРЕННЯ ПРОФІЛЮ ВІЙСЬКОВИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ ДЛЯ ПСИХОФІЗІОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СЛУЖБОВОЇ (ТРУДОВОЇ) ДІЯЛЬНОСТІ У ВОЄННІЙ СФЕРІ

Проведено аналіз сучасних тенденцій розвитку і нормативних документів, що регламентують кадрову політику армії та МО України. Він показав, що в сучасному світі ставляться нові задачі перед військовим рекрутингом, а саме "підвищення кваліфікації" або навчання військовослужбовців у середині кар'єрного шляху за рахунок застосування сучасних технологій, які активно прагнуть об'єднати біо-, нано-, інфо- та нейроелементи. Необхідність визначення специфічних психофізіологічних, розумових та фізичних властивостей військовослужбовця для виконання тих чи інших видів службової діяльності обумовлена тим, що під час воєнного стану є потреба оперативного відбору військових фахівців здатних виконати поставлені задачі, визначення профпридатності військовослужбовців до виконання бойових завдань, тощо. Крім вроджених здібностей, таких, як музичні, математичні та інші здібності, можливості людини обмежені її вродженими властивостями центральної нервової системи. Тренування певних властивостей є обмеженим і можливим тільки в деякому ступені. Вроджені властивості центральної нервової системи обумовлюють ефективність професійної діяльності людини, яка залежить від цілого ряду індивідуально-типологічних властивостей та функціонального стану центральної нервової системи, а також від особистісних якостей, які забезпечують координацію психофізіологічних проявів функціонального стану, його якісну своєрідність. В існуючих нормативно-правових документах, що регламентують кадрову політику Збройних Сил України констатується, що «людський капітал Збройних Сил – сукупність сформованих і розвинутих внаслідок відповідної підготовки здібностей, особистих рис і мотивацій персоналу, що перебувають у його власності, використовуються у службовій діяльності, сприяють зростанню професійної компетентності і завдяки цьому впливають на рівень бойової готовності військ (сил)». Тобто, відібрати тих кандидатів, які б максимально відповідали за своїми психофізіологічним показникам визначеній військовій спеціальності. Актуальність тематики дослідження обумовлена тим, що на даний час просліджується висока динаміка переоснащення високотехнологічним озброєнням та військовою технікою структурних підрозділів Збройних Сил України, а також сучасним вимогам до самого військовослужбовця. Це потребує постійного у часі удосконалення системи психофізіологічного забезпечення службової (трудова) діяльності у воєнній сфері. Така система є складною і багатокомпонентною, що вимагає для її реалізації участі фахівців різного профілю.

В статті здійснюється удосконалення вищезазначеної системи на основі удосконалення методики створення профілю військових спеціальностей на основі модифікації модульної системи оригінальних комп'ютерних психодіагностичних тестів, яка поєднує як кількісне визначення ефективності психофізіологічних та когнітивних функцій, так і електроенцефалографічне та електрокардіографічне обстеження, в результаті яких визначаються особливості нейронних мереж мозку людини, які задіяні в реалізації певних функцій та оцінюється рівень складності виконання певних тестів. Дана модифікація дозволяє підвищити оперативність і достовірність оцінки вроджених комплексних показників центральної нервової системи військовослужбовця (працівника) для розробки та застосування технологій щодо розвитку професійно важливих якостей та їх функціонального стану. При цьому, крім оцінки вроджених психофізіологічних та когнітивних можливостей необхідно передбачити і враховувати низку зовнішніх та внутрішніх факторів службового (трудова) середовища, які детально досліджені і представлені в статті. Ці фактори дозволять доповнити

та конкретизувати вимоги до організму людини, що проходить військову службу в певних умовах зовнішнього і внутрішнього середовищ та з певним режимом службової (трудової) діяльності і відпочинку.

Ключові слова: військова кадрова політика, вмотивований персонал, психофізіологічне забезпечення, військово-професійна діяльність.

Вступ та аналіз останніх досліджень. Різні завдання, які поставлені перед військовослужбовцями вимагають наявності певних специфічних психофізіологічних, розумових та фізичних властивостей для виконання тих чи інших видів службової (трудової) діяльності обумовлена тим, що під час воєнного стану є потреба оперативного відбору військових фахівців здатних виконати поставлені задачі, визначення профпридатності військовослужбовців до виконання бойових завдань, тощо. За своїм призначенням системи профорієнтації спрямовані на надання людині можливості розкрити власні індивідуальні можливості, здібності, навички та визначити в якій саме професійній діяльності вона буде найбільш успішною. Визначення профпридатності людини може бути здійснено в результаті інтеграції двох процесів [1]. Перший процес повинен ідентифікувати знання, навички та інші характеристики, які передбачають успішне виконання завдання, що моделює професійну діяльність та визначити результати його виконання. Другий процес включає методи визначення основних психофізіологічних та когнітивних можливостей людини, необхідних для успішного виконання поставленого завдання. Успішність оволодіння тією чи іншою професією значною мірою залежить від здібностей людини, тобто від стійких психологічних, психофізіологічних і фізичних якостей особистості, які проявляються в певній сфері практичної діяльності [2].

Крім вроджених здібностей, таких, як музичні, математичні та інші здібності, можливості людини обмежені її вродженими властивостями центральної нервової системи (ЦНС). Тренування певних властивостей є обмеженим і можливим тільки в деякому ступені. Вроджені властивості ЦНС обумовлюють ефективність професійної діяльності людини, яка залежить від цілого ряду індивідуально-типологічних властивостей та функціонального стану центральної нервової системи, а також від особистісних якостей, які забезпечують координацію психофізіологічних проявів функціонального стану, його якісну своєрідність. Біля 18-20% військовослужбовців після проведення навчання та підготовки не здатні виконувати поставлені завдання, оскільки їх психофізіологічні особливості не відповідають вимогам відповідних професій [3].

В армії США існує принцип: військовослужбовці на першому місці: люди – ключ до успіху армії; пріоритетом № 1, як і раніше, є люди. Армія США просувається вперед у рамках найбільшої за останні 40 років модернізації і працює над набором та утриманням таких необхідних талантів, щоб підготуватися до все більш конкурентного та невизначеного світу [4]. Розумні, талановиті і здібні люди рухатимуть армію в міру того, як вона рухатиметься в майбутнє і стикатиметься з загрозами, що постійно змінюються. Саме тому "ми активно просуваємо наші кадрові програми", – сказав начальник штабу армії США (Chief of Staff of the Army) Джеймс МакКонвиль. "Ми впроваджуємо та будемо продовжувати впроваджувати системи, які забезпечують нам потрібних людей на потрібній посаді у потрібний час (the right people in the right job at the right time)" [4]. МакКонвиль з першого дня ставить "людей на перше місце". У свій перший день, як 40-й начальник штабу сухопутних військ минулого року чотиризірковий генерал присягнув, що люди будуть його пріоритетом № 1. Не лише військовослужбовці, а й їхні сім'ї і цивільні особи в армії на все життя. У своїй промові, під час щорічних зборів та виставки Асоціації армії США у жовтні 2020 року, він розповів про різні модернізації управління талантами в армії, наприклад, про те, як офіцери відбираються для просування по службі, і оголосив про одну зі своїх пріоритетних ініціатив – Стратегію управління людьми в армії (the Army People Strategy). "Коли ми дбаємо про наших людей і ставимося один до одного з гідністю та повагою, у нас буде набагато сильніша і найвідданіша

армія. Люди завжди були на першому місці. Люди – це наша найбільша сила та найважливіша система озброєння" – сказав він [5, 6].

Зміни в сучасному світі ставлять нові задачі перед військовим рекрутингом. Наприклад, оскільки цифровізація поглинула весь світ, більше немає "технологічних" та "нетехнологічних" компаній. Натомість існують організації, які використовують дані та автоматизацію, та організації, що втрачають актуальність. Армія ризикує втратити актуальність, якщо не вирішить проблему кризи "цифрових талантів": вона не має достатньої кількості "цифрових талантів", і вона погано керує своїми фахівцями з програмування. Армія США визнає, що їй потрібні сучасні інструменти – програмне забезпечення, аналітика даних, хмарні обчислення тощо – для успішного проведення багатодомених операцій для створення стратегії боротьби та перемоги на суші, у повітрі, на морі, у космосі та кіберпросторі на полі бою XXI століття. Для створення цих можливостей потрібен "цифровий персонал": розробники програмного забезпечення; системні інженери; менеджери з програмних продуктів; фахівці з аналізу даних; архітектори хмарних обчислень; інженери; технічні керівники програм та інші фахівці. Нещодавнє створення "Фабрики програмного забезпечення" (Army Futures Command Software Factory) є позитивним кроком для вирішення проблеми нестачі цифрових кадрів, але армія має бути сміливою і створити "Цифровий корпус" для керування своїм цифровим персоналом [7]. Актуальною задачею для армії США є "підвищення кваліфікації" або навчання військовослужбовців у середині кар'єрного шляху. Без зміни системи управління персоналом пасивний розвиток ситуації може привести до появи "сиріт" - кваліфікованих військовослужбовців без "дому" (тобто без кар'єрного зростання) та без інституційного захисту в армії. Армії недостатньо зосередитися на тому, щоб поставити потрібних людей на потрібні місця у потрібний час – вона також має розробити стратегії щодо їх утримання [7, 8]. Все більше і більше компаній по всій Америці звертаються до аналітики людських ресурсів для виявлення та керування своїми внутрішніми талантами. А незабаром і в армії США з'явиться платформа для збирання, аналізу та використання таких даних на користь військовослужбовців. Під керівництвом МакКонвіля служба змінила методи виявлення та відбору лідерів на ключові керівні посади. Але армія США хоче створити всеосяжну культуру розвитку та управління талантами, яка охоплюватиме всю кар'єру військовослужбовців, а не тільки виникатиме у ключові моменти [9]. За словами МакКонвіля, ключові ініціативи служби для досягнення цієї мети – програми оцінки командного складу – дозрівають та розширюються. Ці багатоденні заходи, які включають фітнес-тест, психологічні оцінки, сліпі інтерв'ю та оцінки колишніх колег і підлеглих. Програма оцінки командного складу батальйонів, у рамках якої оцінюються підполковники та майори з можливістю просування по службі, розпочне свою третю ітерацію у 2022 році. Програма оцінки командування полковників, у рамках якої оцінюються полковники та підполковники з можливістю просування по службі, триває другий рік. Ці централізовані програми розширюються та включають відбір сержантів-майорів для організацій рівня бригади. У 2021 році продовжується пілотна програма оцінки кандидатів на посади старших сержантів батальйонного рівня. "Ми провели пілотну програму минулого року, а цього року вона спрямована на оцінку та відбір номінальних сержантів-майорів, які відбираються на певні посади бригадного рівня", – сказав G-1 генерал-лейтенант Gary Brito в інтерв'ю Army Times. За словами МакКонвіля, служба все ще підраховує цифри, щоб визначити, наскільки командири, відібрані за цими програмами, краще працюють. "У нас немає достатньої кількості даних, щоб показати результати командирів у командуванні", – сказав він. "Але у нас є дані, які показують, що ті, кого ми визнали не готовими до командування, на нашу думку, зіткнулися б із певними труднощами" [9].

Аналіз технологічних тенденцій і пов'язаний з ним процес спостереження за технологіями є важливими кроками по виявленню нових актуальних у військовому відношенні технологій та інформування про їх потенційний вплив на НАТО. Виявлені таким чином технології обіцяють надати можливість розвитку руйнівних військових можливостей як Альянсу, так і потенційному противнику. Для вивчення наслідків цих змін у звіті [9] представлено оцінку науково-технічних тенденцій, які, за прогнозами, вплинуть на операції,

розвиток потенціалу та основні функції протягом НАТО наступних 20 років. Ці науково-технічні галузі є широкими, мають значне дублювання, і очікується, що вони дозріють протягом наступних 20 років, носять трансформаційний чи революційний характер та творять зміну поколінь або виникнення нових напрямків у розвитку науки та техніки [10].

Колишній президент США та перший Верховний головнокомандувач НАТО у Європі (SACEUR) Дуайт Д. Ейзенхауер сказав: "Плани нічого не варті, але планування – це все", тому процес прогнозування тенденцій у галузі науки і техніки готує НАТО до появи нових технологічних можливостей та пов'язаних з ними ризиків. Одним з пріоритетних напрямків є розвиток технологій Bio & Human Enhancement Technologies (BHET). Сучасні технології, які активно прагнуть об'єднати біо-, нано-, інфо- та нейроелементи, можуть дати здатність "поліпшувати" людину так, як ми хочемо. Ця здатність – зробити військовослужбовців більш здатними перемагати своїх ворогів і виживати в умовах конфлікту – представляє великий інтерес для збройних сил у всьому світі. Технології поліпшення людини (BHET) – це біомедичні втручання, які покращують форму чи функціонування людини понад те, що необхідно для відновлення чи підтримки здоров'я. До них відносять розробку нових біодатчиків та методів біоінформатики, які розширяють наше розуміння соціально-когнітивної, фізіологічної, економічної та неврологічної поведінки комбатантів для підвищення оперативної ефективності та стійкості, а також для підвищення ефективності некінетичних засобів ураження [10].

Досягнення в галузі матеріалів, інформаційних систем та гуманітарних наук створюють умови для значного збільшення можливостей людини, розширяючи межі фізіологічних, когнітивних та соціальних характеристик військових фахівців. Вони здатні істотно змінити можливості окремого військовослужбовця, моряка чи льотчика та створити інтегровані людино-машинні симбіонти з безпрецедентними можливостями [10]. Необхідність опанування настільки складними та вартісними системами висуває додаткові вимоги до відбору комбатантів за їх навичками, вміннями та вродженими можливостями.

За оцінками експертів протягом наступних 20 років технологічний прогрес у поєднанні з демографічними змінами поставить на перше місце розвиток людського капіталу, здатного керувати та діяти у всіх сферах, включаючи стратегічний, оперативний та тактичний рівні [10].

Пріоритетами національних інтересів України та забезпечення національної безпеки є суспільний розвиток, насамперед розвиток людського капіталу (Закон України «Про національну безпеку України», п.п. б), для реалізації яких необхідно забезпечити посилення спроможностей Збройних Сил України, інших органів сектору безпеки і оборони, зокрема через модернізацію освіти і науки, а також згідно з Переліком критичних технологій у сфері виробництва озброєння та військової техніки необхідно забезпечити здатність високоефективного опанування військовослужбовцями новітніх військових технологій.

Для упорядкування заходів щодо кадрової політики ЗС України МО України було розроблено «Концепцію військової кадрової політики Міністерства оборони України на період до 2025 року» (наказ МО України від 14.09.2021 № 280 «Про затвердження Концепції військової кадрової політики Міністерства оборони України на період до 2025 року») [11]. В цій «Концепції» підкреслюється, що «Головною метою військової кадрової політики є створення умов для гарантованого та якісного комплектування Збройних Сил підготовленим та вмотивованим персоналом, спроможним виконувати завдання за призначенням, і його ефективне використання». Підкреслюється, що потреба в удосконаленні військової кадрової політики, зокрема, зумовлена «забезпеченням спроможності військовослужбовців Збройних Сил виконувати нові завдання в умовах змін форм, методів і засобів ведення бойових дій та збройної боротьби, максимально ефективного використання персоналу, який має бойовий досвід». Констатується, що «людський капітал Збройних Сил – сукупність сформованих і розвинутих внаслідок відповідної підготовки здібностей, особистих рис і мотивацій персоналу, що перебувають у його власності, використовуються у службовій діяльності, сприяють зростанню професійної компетентності і завдяки цьому впливають на рівень бойової готовності військ (сил)». В цьому документі підкреслюється, що «ключовою проблемою

військової кадрової політики, що негативно впливає на укомплектованість Збройних Сил належно підготовленим та вмотивованим персоналом, є наявність тенденції щодо скорочення кількості громадян з належними особистими та морально-діловими та професійними якостями, які бажають проходити військову службу за контрактом у Збройних Силах, та збереження динаміки плинності кадрів, а саме: відтік певної кількості кваліфікованих та досвідчених військовослужбовців, відсутність у них бажання тривалого проходження військової служби за контрактом». Вирішення вказаних проблем частково лежить в площині налагодження якісного професійного відбору військовослужбовців, що регламентується іншими нормативними документами.

Одним з важливих етапів психофізіологічного та психологічного супроводу професійної діяльності військовослужбовців є відбір для проходження служби. Значимість цього етапу обумовлена тим, що вказана процедура передбачає довгострокове визначення професійного шляху військовослужбовця, сприяє успішності його подальшої кар'єри, допомагає збереженню здоров'я. Всі означені причини суттєво впливають на якість життя військовослужбовця та рівень його мотивації до виконання своїх професійних обов'язків.

Ключовим моментом при проведенні професійного відбору військовослужбовців є його організація. В наказі МО України від 10.12.2014 р. № 883 «Про затвердження Інструкції з організації професійно-психологічного відбору у Збройних Силах України» професійно-психологічний відбір у Збройних Силах України визначається як: «комплекс заходів, спрямованих на забезпечення відбору громадян, які призиваються (приймаються) на військову службу, і військовослужбовців з професійно важливими якостями, що відповідають вимогам військово-професійної діяльності» [12]. В цьому нормативному документі визначається, що для успішної довгострокової професійної діяльності повинна бути певна тотожність між вимогами професії до військовослужбовця та психологічними та психофізіологічними якостями людини, яка претендує на виконання такої роботи. Причому визначення ступеня придатності здійснюється за шкалою: «високий рівень» (повністю відповідає вимогам військових посад); «середній» (в основному відповідає вимогам військових посад); «мінімально достатній» (частково відповідає вимогам військових посад); «низький» (не відповідає вимогам військових посад)» (наказ МО України від 10.12.2014 р. № 883 «Про затвердження Інструкції з організації професійно-психологічного відбору у Збройних Силах України»). Визначення того чи іншого ступеня професійної придатності здійснюється за спеціальними правилами, притаманними для кожної з професійних груп [10]. В іншому наказі (наказ МО України від 25.09.2019 р. № 502 «Про затвердження Змін до Інструкції про організацію виконання Положення про проходження громадянами України військової служби у Збройних Силах України») декларується, що в розділі «Вимоги до кандидатів на посаду» визначають професійні вимоги, які є обов'язковими для призначення кандидатів на посади, та професійні компетентності, наявність яких надає перевагу для призначення на посаду, але які не є обов'язковими» [13]. Причому «професійні вимоги - вимоги, дотримання яких є обов'язковим. Вимоги визначають професійні якості та досвід, необхідні кандидату для належного виконання посадових обов'язків з урахуванням особливостей характеристики посади, її функціонального призначення». Вказується, що попередньо потрібно провести дослідження з необхідних для реалізації успішної професійної діяльності індивідуально-психологічних якостей різних груп кандидатів: «для навчання у вищих військових навчальних закладах і військових навчальних підрозділах вищих навчальних закладів; для навчання, допідготовки, перепідготовки у навчальних центрах (підрозділах) Збройних Сил України осіб рядового, сержантського та старшинського складу; для прийняття на військову службу за контрактом осіб рядового, сержантського та старшинського складу; для прийняття на військову службу за контрактом осіб офіцерського складу; для проходження служби у військовому резерві; для участі в міжнародних операціях з підтримання миру і безпеки у складі національного контингенту і національного персоналу, що не входить до складу національного контингенту; громадян, які призиваються на строкову військову службу, а також осіб офіцерського складу за призовом; військовозобов'язаних за призовом під час мобілізації, на особливий період; військовослужбовців під час оцінювання

при призначенні на посади і переміщенні по службі на підставі резерву кандидатів для просування по службі з підготовкою відповідних висновків і рекомендацій» (наказ МО України від 10.12.2014 р. № 883 «Про затвердження Інструкції з організації професійно-психологічного відбору у Збройних Силах України») з метою «надання за результатами відбору висновків і рекомендацій командирам (начальникам) щодо доцільності призову (прийому) визначених осіб на службу до Збройних Сил України, організації індивідуальної роботи з підлеглими, комплектування екіпажів, розрахунків, команд, підрозділів військовослужбовцями з урахуванням їх психологічної сумісності, індивідуально-психологічних і професійних якостей» [12].

В обговорюваних нормативних документах формулюються основні завдання професійно-психологічного відбору особового складу (наказ МО України від 10.12.2014 р. № 883 «Про затвердження Інструкції з організації професійно-психологічного відбору у Збройних Силах України»): «оцінка психологічної та психофізіологічної придатності військовослужбовців до видів діяльності, до виконання яких вони призначаються, прогноз успішності їх подальшої професійної діяльності під час проходження військової служби та виконання завдань за призначенням; виявлення осіб з нервово-психічною нестійкістю, з асоціальними установками та тих, які вживають психоактивні речовини, підготовка та надання керівному складу військових частин (підрозділів) відповідних висновків та рекомендацій; надання рекомендацій з раціонального розподілу особового складу відповідно до рівня розвитку їх професійно важливих індивідуально-психологічних та психофізіологічних якостей за військовими спеціальностями» [12].

Виклики сучасного світу ставлять нові задачі стосовно підбору кадрів в арміях країн світу. Список необхідних спеціальностей розширюється, а вимоги до підбору кадрів все більше змішуються від оцінки знань, навичок та вмінь до вроджених психофізіологічних та когнітивних можливостей претендентів. Тому розробка нових методів визначення психофізіологічних та когнітивних можливостей військовослужбовців є актуальною.

На сьогодні в ЗСУ застосовуються програмно-апаратні комплекси психофізіологічної діагностики (ПАКПФД), а саме: ПФИ-2; Психолот-1; МПДК.

ПФИ-2 створений на базі приладу для психофізіологічних досліджень, в якому реалізовано наступний перелік методик для дослідження і оцінки: критичної частоти злиття світлового мигтіння червоного, зеленого, синього і жовтого кольорів; часу простої сенсомоторної реакції на світлові і звукові стимули; часу складної сенсомоторної реакції на світлові і звукові стимули; функціональної рухливості нервових процесів; дослідження реакції на об'єкт, що рухається; дослідження характеристик орієнтації в просторі ("Компаси"); характеристик пам'яті (оперативної); коректурної проби з кільцями Ландольта; ставлення випробуваного до ризику; будь-які бланкові методики за бажанням замовника. Недоліком даного ПАКПФД є неможливість визначати ціну, сплачену організмом за виконання завдань.

"Психолот-1" призначений для оснащення кабінетів психофізіологічної експертизи, які проводять психофізіологічне обстеження при проведенні обов'язкових попередніх (під час прийняття на роботу) і періодичних (протягом трудової діяльності) медичних оглядів працівників, зайнятих на роботах, де є потреба у професійному доборі, і формують висновки психофізіологічної експертизи щодо придатності працівників до виконання робіт, що потребують професійного добору. Недолік цього комплексу полягає відсутності системного підходу до вибору тестових методик. Крім того, результати оцінювання урівноваженості нервових процесів (методика "маятник" – модифікація методики "оцінки реакції на рухомий об'єкт") не можна вважати валідними.

Мобільний психолого-діагностичний комплекс (МПДК) призначений для автоматизації психологічного обстеження людей, який полягає у наступному: визначення професійної спрямованості кандидатів на військову службу відповідно до психограм і професіограм; здійснення прогнозованого відбору особового складу (за психологічними характеристиками) на етапах вивчення кандидатів для проходження військової служби за контрактом, як правило в територіальних центрах комплектування соціальної підтримки та навчальних центрах, за військово-обліковими спеціальностями; проведення індивідуальної та групової

психофізіологічної експертизи в умовах обмеженого часу; психофізіологічне діагностування військовослужбовців перед вибуттям в райони виконання завдань за призначенням та психофізіологічна експертиза після повернення; діагностики ознак психічних розладів у військовослужбовців, ступеня психотравмованості; визначення рівня ефективності заходів психологічної реабілітації (відновлення) військовослужбовців; формування та друк результатів дослідження. Недоліком даного ПАКПФД є відсутність сучасних методів нейрофізіології визначення нейромаркерів ефективної професійної діяльності військовослужбовців.

Специфічні властивості центральної нервової системи людини, стан її когнітивних функцій та особливості нейромереж головного мозку визначаються виходячи з вимог, які пред'являють до тієї або іншої військової спеціальності. Це вирішить проблеми високоефективного професійного відбору військовослужбовців, та дозволить знизити як фінансові так і часові витрати щодо підготовки військовослужбовців різних спеціальностей, тим самим підвищити ефективність підготовки до виконання завдань в умовах інформаційного та фізичного перенавантаження, а також в екстремальних умовах. Тому, тільки нові можливості нейробиології мають величезний потенціал для підвищення ефективності діяльності військовослужбовців у мирний і воєнний час. При цьому, як показує аналіз найбільш вагомими є ті методики тестування та оцінювання психофізіологічного стану військовослужбовця, які мають критичні показники за визначеними показниками нервової системи та когнітивних функцій мозку, а саме: *простої сенсомоторної реакції*, оскільки розумові здібності людини давно пов'язують з хронометричними показниками ефективності діяльності. Час реакції є суттєвим обмеженням при прийнятті рішення і є визначальним елементом компромісу між швидкістю та точністю, які характеризують якість більшості рішень; *функціонального рівня ЦНС*, рівня функціональних можливостей та стійкості реакції, які оцінюють здатність ЦНС організуватись для виконання завдання, вони також є фізіологічною основою такої психологічної якості, як увага. В тому випадку, коли ці показники є нижчими за відповідні порогові значення, це може свідчити про відсутність нейрологічного базису для можливості людини зосередитись на поставленому завданні та максимально ефективного його виконання; *сили нервової системи*, яка визначає здатність витримувати довготривале та концентроване збудження на дію сильного подразника, не переходячи в стан надпорогового гальмування, тобто спроможність людини не зважаючи на наявні перешкоди виконати поставлене завдання; *реакції вибору*, яка характеризує час центрального перемикання, що є критичним в процесах прийняття рішення, оскільки порушення інформаційних процесів при реалізації реакції вибору може призвести до неадекватного компромісу між швидкістю та точністю, неадекватним рейтингом довіри та неадекватним висновкам, які пов'язані з різними ілюзіями при сприйнятті та упередженнями. На відміну від простої сенсомоторної реакції, яка є сумою часу сприйняття стимулу та моторної відповіді, в час реакції вибору входять додаткові складові – час ідентифікації стимулу та час прийняття рішення як саме реагувати, саме тому швидкість реакції вибору є критичним параметром в процесах прийняття рішення; *оперативної пам'яті* військовослужбовця на невербальні стимули зростаючого рівня складності. Здатність відновлювати інформацію та утримувати її в пам'яті є критичним параметром при прийнятті рішення. Критичну роль в якості прийняття рішення відіграють кількість елементів, які повинні одночасно оброблятися та аналізуватися, а це, в свою чергу, залежить від обсягу оперативної пам'яті людини; *здатності витримувати інформаційне перенавантаження*. При цьому, додаткове застосування електроенцефалографа (ЕЕГ) (реєстрація ЕЕГ проводиться під час виконання тестових завдань) визнаються нейромаркери адекватності нейромереж головного мозку, а саме: структури головного мозку, які задіяні при певному когнітивному навантаженні, а когерентний аналіз дозволяє дослідити зв'язність мозку, оскільки саме специфічні взаємопов'язані структури головного мозку визначають ефективність мозкової діяльності під час виконання завдання, і електрокардіографа (ЕКГ) (реєстрація ЕКГ проводиться під час виконання тестових завдань) визначити ціну, сплачену організмом за виконання завдань. Також, додатково є ефективним включення заходів, які спрямовані на:

оцінку боєздатності окремих підрозділів за показниками функціональних резервів та психоемоційної напруги їх представників; проведення психокорекції осіб з виявленими відхиленнями функціонального стану для їх швидкої та успішної адаптації до виконання службових обов'язків; проведення психофізіологічних тренувань стресостійкості та інших професійно важливих якостей з застосуванням прийомів зворотного зв'язку; прогнозування віддалених наслідків пережитого стресу тощо.

Наголошується, що «під час проведення заходів професійно-психологічного відбору застосовуються методики та автоматизовані психодіагностичні комплекси (за письмовою згодою) відповідно до переліку психодіагностичних методик, які використовуються під час проведення заходів професійно-психологічного відбору у Збройних Силах України, затверджених Генеральним штабом Збройних Сил України» (наказ МО України від 10.12.2014 р. № 883 «Про затвердження Інструкції з організації професійно-психологічного відбору у Збройних Силах України»). При цьому «висновок про професійну придатність громадян до проходження військової служби у Збройних Силах України вноситься за результатами виконання всіх методик психодіагностичних тестів» [12]. В останньому твердженні спостерігається наявність деяких протиріч. Справа в тому, що досить нечасто спостерігається наявність глобальної придатності людини за всіма психодіагностичними тестами. Зазвичай ступінь професійної придатності визначається за відповідним відсотком негативних відхилень професійно важливих якостей претендента. Проте, хоча цей прийом є досить простим, але вже застарілим оскільки не враховує цінність тієї чи іншої індивідуально-психологічної якості в кожній з професій, що значно знижує вірогідність вироблення адекватної оцінки ступеня придатності. На сучасному етапі розвитку науки для вироблення рішень в умовах наявності багатокритеріального середовища застосовують методи теорії корисності, яка враховує не тільки корисність кожного з показників, але й вартість досягнення цієї корисності. Крім того, в такій складній системі як організм людини існують відповідні компенсаторні психофізіологічні механізми, з допомогою яких здійснюється елімінація вад певних індивідуально-психологічних якостей людини. Наявність цих механізмів слід враховувати при оцінці професійної придатності військових фахівців.

Таким чином, постає наукова задача направлена на удосконалення методики створення профілю військових спеціальностей для психофізіологічного забезпечення службової (трудої) діяльності у воєнній сфері на основі модифікації модульної системи оригінальних комп'ютерних психодіагностичних тестів, який поєднує як кількісне визначення ефективності психофізіологічних та когнітивних функцій, так і електроенцефалографічне та електрокардіографічне обстеження, в результаті яких визначаються особливості нейронних мереж мозку людини, які задіяні в реалізації певних функцій та оцінюється рівень складності виконання певних тестів.

Основні результати досліджень. Було проведено модифікацію чотирьох блоків комп'ютерних тестів визначення стану психофізіологічних та когнітивних функцій військовослужбовців із залученням студентів, які навчаються за програмою офіцерів запасу на факультеті післядипломної освіти КНУ імені Тараса Шевченка. В обстеженні добровільно взяв участь 41 студент (20 жінок та 21 чоловік) віком від 18 до 21 років. Усі обстежувані, які брали участь у тестуванні під час виконання даної роботи були правші, добровільно приймали участь у обстеженні, вони були поінформовані стосовно схеми проведення обстеження та надали письмову згоду відповідно до Гельсінської етичної декларації.

Статистичний аналіз отриманих даних проводився за допомогою пакету прикладних програм STATISTICA 7.0 (StatSoft Inc, USA, 2004).

Проводилась модифікація модульної системи оригінальних комп'ютерних тестів, яка складалась з чотирьох наступних блоків: I блок. Визначення стану центральної нервової системи; II блок. Визначення мікроструктури оперативної пам'яті; III блок. Оцінювання здатності людини протистояти інформаційному перенавантаженню та IV блок. Визначення структури інтелекту.

В першому тесті I блоку "Проста сенсомоторна реакція" обстежуваному на екрані комп'ютера давалась інструкція, після чого з'являлось слово "Старт" і 2 с. надавались для зосередження, після

чого послідовно пред'являлись 300 квадратів. Пауза між зображеннями обиралась випадково з інтервалу 500-600 мс. для того, щоб наступний сигнал був очікуваним, але не було настанови на ритм пред'явлення зображень. Зображення зникало після натискання будь-якої літери латинського алфавіту, в протилежному випадку через 1500 мс. зображення зникало. Реєструвались латентні періоди (ЛП) простої сенсомоторної реакції в мікросекундах з точністю до 10 мс. Обчислювалась швидкість простої сенсомоторної реакції (ШПСР/мс), як середнє значення ЛП для наступних інтервалів номерів стимулів: кожних 10 стимулів та для кожних 50 стимулів.

У другому тесті I блоку "Реакція вибору" обстежуваному на екрані комп'ютера давалась в випадковому порядку пред'являлися два типи стимулів, квадрат або трикутник (всього 300 стимулів), при пред'явленні яких необхідно було реагувати відповідно правою або лівою рукою. Пауза між стимулами обиралась випадково з інтервалу 500-600 мс для того, щоб наступний стимул був очікуваним, але не прогнозованим. В тесті реєструвався час моторної відповіді на правильно ідентифіковане зображення, тобто при помилковій реакції наступний стимул не пред'являвся. Також реєструвався час сенсомоторної відповіді реакції вибору правою (РВП) та лівою рукою (РВЛ), розраховувався середній час реакції вибору – $PB = (RVP + RBV)/2$.

У третьому тесті I блоку "Тест на визначення функціональної рухливості нервових процесів" (ФРНП) на моніторі комп'ютера обстежуваному пред'являли у випадковій послідовності 3 види зображень – коло, квадрат та трикутник. При появі квадрата на екрані потрібно якомога швидше натиснути клавішу "/", трикутника – "с" у латинському регістрі, кола – нічого не натискати. Подразники починали подаватись з інтервалом в 500 мс. Кожна правильна реакція зменшувала час пред'явлення зображення на 10 мс, а помилкова – збільшувала. Перші 30 подразників давались на адаптацію, реакція на них впливала на темп пред'явлення стимулів, але впродовж цих 30 реакцій не розраховувалась кількість помилок. Програма зупинялась, коли кількість помилок в останніх 10 реакціях досягала 50%. Значення ЛП останніх 10 реакцій відкидалися, а показник ФРНП визначався як середнє значення передостанніх 10 ЛП, 20 ЛП та 50 ЛП методом ковзного (рухомого) середнього.

У четвертому тесті I блоку "Тест на визначення працездатності головного мозку" (ПГМ) обстежуваному пред'являлись 300 тих же самих стимулів, що і в попередньому тесті, але у темпі, який був індивідуально визначений на основі ФРНП. Працездатність головного мозку за А.Є. Хільченко визначається за показниками кількості помилкових реакцій шляхом реєстрації реакцій обстежуваного на пред'явлення умовних подразників у швидкому темпі протягом декількох хвилин [14, 15]. Цей тест починається безпосередньо після проходження попереднього, бо знайдене значення ФРНП задає темп пред'явлення подразників. При цьому реєструється тільки кількість помилок. Цей тест доповнює перший тест, бо за І.П. Павловим критерієм сили нервової системи є ПГМ, яка виражається у здібності витримувати довготривале та концентроване збудження, або дію сильного подразника, не переходячи в стан позамежного гальмування [16, 17]. Показник ПГМ обчислювався як відносна кількість помилок для 1-50, 1-100, 1-150, 1-200, 1-250 та 1-300 стимулів.

У II блоці "Визначення мікроструктури оперативної пам'яті" обстежувані проходили 2 тести: тест на визначення якості короточасної зорової пам'яті на геометричні фігури з однією ознакою (Г1) та короточасної вербальної пам'яті на літери (Л). В цих тестах обстежуваному пред'являли послідовно 60 груп літер або геометричних фігур з однією ознакою по 2-7 різних фігур у групі (рис. 1). Певна кількість літер або фігур у тесті повторювалась по 10 разів з випадковою комбінацією різних фігур. Час пред'явлення кожної групи літер або фігур складав 1,5 с. Через 1 с. після того, як у верхньому прямокутнику літери або фігури згасали, у нижньому прямокутнику з'являлася тестова літера або фігура. Якщо ця літера або фігура була у пред'явленій раніше групі літер або фігур у верхньому прямокутнику, обстежуваному необхідно було натиснути правою рукою на клавішу "/", якщо її там не було – лівою рукою клавішу "с" у латинському регістрі. Реєструвались час кожної відповіді та наявність чи відсутність при цьому помилки [18].

В III блоці "Оцінки здатності людини протистояти інформаційному перенавантаженню" короточасної зорової пам'яті на геометричні фігури з двома ознаками (Г2). Аналогічно, як і

тесті Г1 обстежуваному пред'являли послідовно 60 груп геометричних фігур з двома ознаками по 2-7 різних фігур у групі. Певна кількість фігур у тесті повторювалась по 10 разів з випадковою комбінацією різних фігур. Час пред'явлення кожної групи фігур складав 1,5 с. Через 1 с. після того, як у верхньому прямокутнику фігури згасали, у нижньому прямокутнику з'являлася тестова фігура. Якщо ця фігура була у пред'явленій раніше групі фігур у верхньому прямокутнику, обстежуваному необхідно було натиснути правою рукою на клавішу "/", якщо її там не було – лівою рукою клавішу "с" у латинському регістрі. Реєструвались час кожної відповіді та наявність чи відсутність при цьому помилки, а також розраховувався середній час реакції при запам'ятовуванні геометричних фігур з двома ознаками та кількість помилок [19].

В IV блоці "Визначення структури інтелекту" авторським колективом використовувався класичний варіант тесту структури інтелекту Р. Амтхауера (TSI), який складається з дев'яти субтестів по 16-20 завдань в кожному. Кожен з субтестів спрямований на вимірювання різних функцій інтелекту, які групуються в комплекси оцінки вербального інтелекту, наявності загальної орієнтація на суспільні науки і вивчення іноземних мов; оцінки математичної обдарованості (визначає здібності в області практичної математики і програмуванні) та оцінки конструктивного інтелекту, за рівнем розвитку якого можна рекомендувати вибір професії, яка пов'язана з природничо-технічними науками і відповідною практичною діяльністю [20].

За результатами проведеного обстеження за **першим тестом I блоку** було встановлено, що розподіл значень ШПСР для всіх інтервалів за результатами тесту Лілліфора не є нормальним ($p < 0,05$). В цьому випадку центральну тенденцію розподілу більш точно відображає медіана, а розкид – кватилі. Було виявлено, що на перших 15 пред'явленнях стимулів ШПСР була значущою більше, ніж для наступних 15: 254 (224; 276) мс vs 237 (220; 265) мс. (за критерієм Вілкоксона $p = 0,04$). В той же час непараметричний аналог дисперсійного аналізу - критерій Фрідмана не показав відмінностей для наступних інтервалів аж до 115 стимулів (ANOVA Chi Sqr.=14,03; $p = 0,08$). Таким чином, можна зробити висновок, що на перших 15 стимулах спостерігалась орієнтаційна реакція. Саме тому, для подальшого аналізу ШПСР обчислювались після відкидання перших 15 результатів для наступних інтервалів номерів пред'явлень 1–50, 51-100, 101-150, 151-200, 201-250 та 251-300.

Більш детальний аналіз індивідуальної швидкості реакції на 300 пред'явлень стимулів показав, що до приблизно 100-го пред'явлення формувалась функціональна система, яка реалізувала просту сенсомоторну реакцію, після чого у деяких обстежуваних наступав період втоми, зосередженість втрачалась та спостерігався розкид реакцій, хоча інші продовжували підтримувати цю функціональну систему на попередньому рівні (рис. 1). Зазначимо, що ШПСР, яка обчислювалась для кожних 10 стимулів показала значущі зміни на відрізьку 90-100 стимулів – 190-200 стимулів (ANOVA Chi Sqr.=19,9; $p = 0,03$), причому переломними виявились 140-150 пред'явлень (за критерієм Вілкоксона $p < 0,05$).

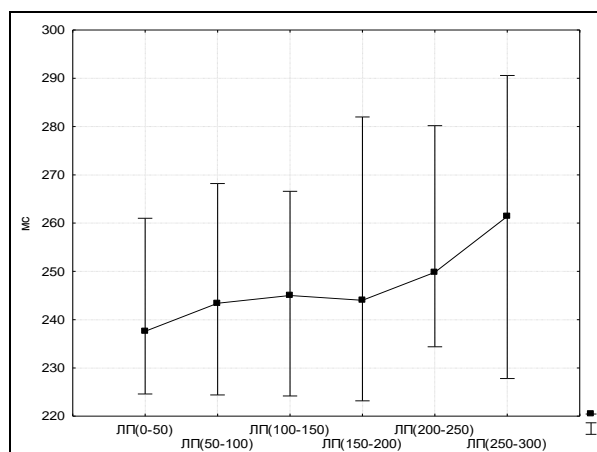


Рисунок 1 - Динаміка медіан латентних періодів прості сенсорної реакції для кожних 50 пред'явлень стимулів ($n=21$)

ШПСР є мірою збудливості центральної нервової системи, що дозволяє визначити ступінь координації різноманітних рефлексів та форм діяльності, а оскільки цей тест не мав за мету визначення реакції на монотонію, в тесті була змінена кількість пред'явлень стимулів на 115. За результатами цього тесту визначали силу нервової системи за методикою Мерліна [21]. Сильний тип нервової системи характеризується здатністю виконувати завдання незважаючи на зовнішні умови, не відволікатись та не звертати увагу на невеличкі деталі та витримувати напруження впродовж тривалого часу. Слабкий тип нервової системи характеризується високою чутливістю до окремих деталей, незначних змін у поведінці, відволіканням на зовнішні подразники та швидкою втомою. За результатами цього тесту також визначали функціональний рівень центральної нервової системи, який характеризує здатність до концентрації на завданні, що є фізіологічною основою такої психологічної характеристики, як увага; рівень функціональних можливостей центральної нервової системи, який характеризує здатність виконувати завдання в умовах дефіциту часу, в форс-мажорних ситуаціях та стійкість стану центральної нервової системи, який характеризує стійкість такого психологічного параметру, як увага за методикою Лоскутової [22]. На відміну від попереднього тесту визначення простої сенсомоторної реакції, адаптація до умов виконання тесту РВ відбулась на перших 5 стимулах. На думку авторського колективу це пояснюється тим, що виконання більш складної інструкції та запам'ятовування більш складної інформації вимагає від обстежуваного більшої уваги. Тобто пред'явлення 5 стимулів перед основною серією є цілком достатнім для орієнтаційної реакції. Стабілізація показника відбулась на перших 100 пред'явлень стимулів (ANOVA Chi Sqr. = 9,04; $p = 0,11$), тому була проведена відповідна модифікація комп'ютерного тесту для визначення РВ. Різниця в швидкості реакції правою та лівою рукою є показником функціональної асиметрії. У випадку, коли реакція правою рукою є швидшою, можна припустити, що у людини домінують логіко-семантичні вербальні процеси сприйняття та обробки інформації, а у випадку швидшої реакції лівою рукою - що у людини переважають процеси цілісного та образного сприйняття та обробки інформації. Дослідження показали, що в результаті тренування асиметрію можна посилити або послабити, але не переробити. Зазначимо також, що порівнюючи між собою реакцію вибору та просту сенсомоторну реакцію, слід звернути увагу на принципові відмінності в цих двох реакціях. Так, реакція вибору, на відміну від простої сенсомоторної реакції, потребує не тільки сприйняття сигналу та стереотипної реакції на нього, але і складних процесів ідентифікації сигналу, які завершуються вибором відповідної реакції. Доведено [22, 23], що при здійсненні реакції вибору в загальній швидкості її здійснення найбільша затримка часу відбувається саме в центральній ланці, де власне і відбуваються самі процеси вибору. Тому можна стверджувати, що реакція вибору загалом характеризує час центрального перемикання і пов'язана з швидкістю руху нервових процесів в ЦНС. Саме тому, опираючись на таку логіку, швидкість центральної обробки інформації визначалась, як різниця часових значень реакції вибору та простої сенсомоторної реакції РВ-ПСМР [23 - 25].

Показник швидкості центральної обробки інформації характеризує швидкість руху нервових процесів в центральній нервовій системі та швидкість міжпівкульного інформаційного обміну, міжпівкульної взаємодії, які відіграють вирішальну роль у швидкісних характеристиках процесів переробки інформації та процесах прийняття рішення. У випадку, коли ця різниця є достатньо великою, є велика ймовірність наявності помилкових реакцій комбатантів в ситуаціях, які вони ще не усвідомили та не ідентифікували складові ситуації. Якщо виконання професійних обов'язків пов'язано з процесами вибору при прийнятті рішення, то треба зважувати на те, що перевищення РВ ШПСР більше, ніж на 200-250 мс., може бути одним із критеріїв профвідбору, оскільки свідчить про те, що людина здатна реагувати на стимул ще до його ідентифікації, що може бути причиною прийняття помилкових рішень [26].

Дослідження динаміки показника ФРНП (мс), який визначався як середнє значення передостанніх 10 ЛП, 20 ЛП та 50 ЛП методом ковзного (рухомого) середнього показав, що показник ФРНП, який обчислювався на основі значення передостанніх 10 ЛП був в 1,2 рази чутливішим за показник, який розраховувався на основі 20 ЛП та в 3,4 рази – на основі 50 ЛП.

Тому в подальшому ми використовували методику, основу за ковшому середньому передостанніх 10 ЛП. Показник ФРНП характеризує здатність військовослужбовця швидко орієнтуватись в новій ситуації та адаптуватись до неї, а також здатність швидко оцінювати реакцію інших людей і адекватно на неї реагувати [27].

Показник ПГМ був нормально розподілений ($p > 0,05$), тому результати представлено у вигляді $M \pm SD$ (середнє значення \pm середньоквадратичне відхилення). Дослідження динаміки середньої кількості відносної кількості помилок в тесті на визначення ПГМ (рис. 2) виявило стабілізацію показника на 200 стимулах. Тому в комп'ютерному тесті кількість пред'явлень стимулів була скорочена з 300 до 200. Зазначимо, що показник ПГМ характеризує здатність комбатанта виконувати однотипну роботу безпомилково впродовж тривалого часу.

Включення в модульну систему оригінальних комп'ютерних тестів на визначення мікроструктури оперативної пам'яті пов'язано з тим, що, здатність до запам'ятовування та обробки інформації мають важливий внесок на рівень інтелекту та розвитку когнітивних функцій людини [28]. В [29] зазначено, що здатність приймати швидкі та точні рішення на основі обмеженої сенсорної інформації є найважливішим компонентом візуального пізнання та формування поведінкових актів. Наявні дані свідчать про те, що прості перцептивні відмінності засновані на накопиченні та інтеграції сенсорних даних протягом часу. Оперативна пам'ять дозволяє тимчасово зберігати інформацію у доступному стані. В цій роботі показано, що індивідуальні відмінності в ємності візуальної оперативної пам'яті сильно корелює зі швидкістю накопичення доказів в двох альтернативній задачі прийняття рішення. Більше того, цей зв'язок поширюється на різні завдання прийняття рішень і не може бути поясненим відмінностями в загальному збудженні чи пильності. Показано, що якість зберігання інформації в оперативній пам'яті та прийняття ефективних рішень безпосередньо пов'язані.

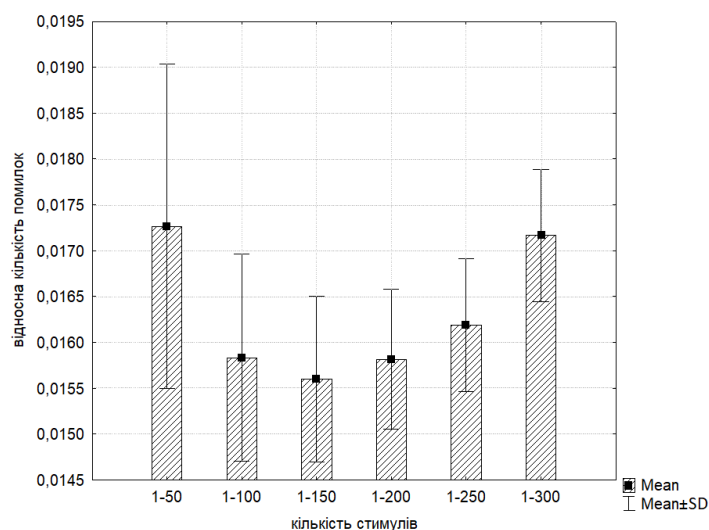


Рисунок 2 - Динаміка середньої кількості відносної кількості помилок в тесті на визначення працездатності головного мозку ($n = 21$)

В попередній версії тесту на зорову оперативну пам'ять були введені комплексні показники, які оцінювали правильну (Right-Reaction_G1) та помилкову реакції (False-Reaction_G1), реакції правою та лівою рукою в цілому (Right-Hand_G1 та Left-Hand_G1).

Оскільки за критерієм Лілліфора розподіл практично всіх показників відрізнявся від нормального ($p < 0,01$), центральну тенденцію було описано медіаною, а розкид – інтерквартильним розмахом. Результати аналізу деяких показників викликали проблеми при інтерпретації. Так, показники Right-Hand_G1, Left-Hand_G1 та False-Reaction_G1 при підвищенні рівня складності завдання на оперативну зорову пам'ять до 6 та 7 фігур у множині прискорились, а показники Right-Reaction_G1 уповільнився (рис. 3).

Аналіз ускладнень з інтерпретацією показав, що причиною є те, що показники визначались як сума певних середніх значень реакцій, тому неможливо з'ясувати, які зміни в якій складовій призвели до змін в цьому показнику. Однак докладний аналіз довів, що більш інформативними є наступні показники: TIME_G1 (мс) – середній час проходження тесту Г1; R_G1 - відносна кількість помилок (кількість помилок/60); RR_G1[i] (мс) – середній час правильних реакцій правою рукою для множити із і стимулів; RL_G1[i] (мс) – середній час правильних реакцій лівою рукою для множити із і стимулів; FR_G1[i] (мс) – середній час помилкових реакцій правою рукою для множити із і стимулів; FL_G1[i] (мс) – середній час помилкових реакцій лівою рукою для множити із і стимулів; ERR_G1[i] – кількість помилок правою рукою для множити із і стимулів; ERL_G1[i] – кількість помилок лівою рукою для множити із і стимулів; де $i = 2, 3, \dots, 7$. Такі показники дозволяють побудувати індивідуальну карту мікроструктури зорової оперативної пам'яті. Аналогічні результати були отримані і для індивідуальних карт мікроструктури вербальної оперативної пам'яті.

Пам'ять можна розглядати як взаємодію двох процесів: запам'ятовування та забування. Згідно [30], принцип кодування інформації мозком засновано на золотому перетині і значення $\Phi=0,618$ є точкою резонансу. Оскільки гама-коливання вкладаються у межах тета-циклу приблизно 7 разів, то можна припустити, що саме при значенні кількості стимулів $4,3=0,618*7$, тобто приблизно при 4-5 стимулах відбувається перебудова в підсистемах пам'яті, внаслідок чого саме таку кількість стимулів і вважають об'ємом оперативної пам'яті при одночасному їх пред'явленні.

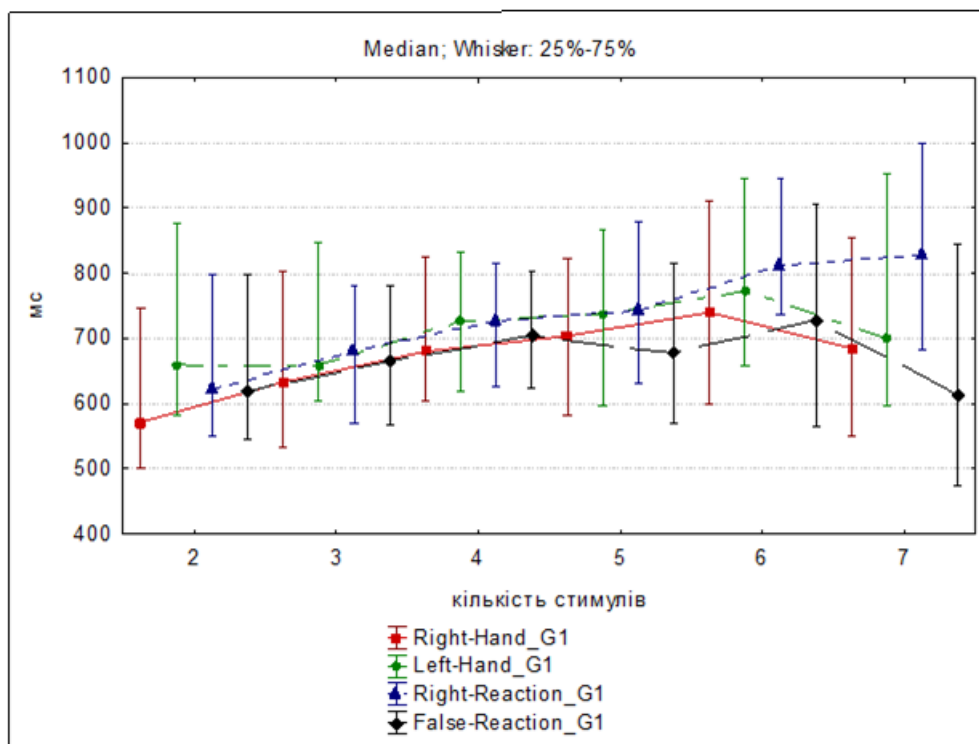


Рисунок 3 - Середній час реакцій Right-Hand_G1, Left-Hand_G1, Right-Reaction_G1 та False-Reaction_G1 (n=21)

Отримані результати свідчать, що при одночасному пред'явленні 2-5 одиниць стимулів переважає процес запам'ятовування, а при збільшенні кількості стимулів – починає переважати процес забування. Відмінності ЛПІ для різних типів стимулів пов'язані із складністю інформації, яку несе кожен стимул [31], та із півкулею мозку, яка переважно залучена в обробці інформації. Згідно більшості даних, у правшів ліва півкуля відіграє більшу роль у обробці вербальної інформації, а права півкуля – у обробці невербальної інформації, включаючи складні геометричні патерни і просторові властивості об'єктів. В той же час, обробка інформації, найімовірніше, є ще складнішою і може бути не лише стимул-, але і

процес-залежною. Та ж сама інформація поступає в кожен півкулю, де вона проходить різну обробку, пов'язану із системами, які спеціалізуються на цьому. Зростання ЛП, починаючи із 4 одиниць [32], яке, до того ж, супроводжується збільшенням кількості помилок, означає, що інформаційне навантаження після цієї межі є надмірним для системи і узгоджується із даними літератури про об'єм оперативної пам'яті до 4 об'єктів.

В тесті "Оцінки здатності людини протистояти інформаційному перенавантаженню" показав наявність помилкових реакцій лівою рукою вже на множині з 3 стимулів, а правою – на множині з 4 стимулів, тобто людина нездатна безпомилково виконувати цей тест вже на множині з 3-4 стимулів. При цьому на найвищому рівні складності, коли для запам'ятовування пред'являлись множини з 7 стимулів, за критерієм Манна-Вітні кількість помилок правою рукою була значуще більшою, ніж лівою ($Z_{adjusted} = -3,56; p = 0,0004$). Це свідчить про те, що в цій ситуації ліва півкуля має більші ускладнення із запам'ятовуванням, ніж права. Більш детально механізм цього явища можна буде дослідити при аналізі електроенцефалограми, реєстрація якої здійснюватиметься під час проходження тесту. Крім того, найбільший інтерес представляє не тільки дослідження здатності людини запам'ятовувати інформацію підвищеного рівня складності, але і її реакцію на нездатність виконати завдання. Оскільки цей тест візуально подібний до попереднього тесту Г1, обстежуваний не може зрозуміти, що цей тест неможливо виконати без помилок. Тому найбільший інтерес має його реакція на усвідомлення нездатності виконати завдання та контролювати ситуацію, яку можна оцінити на основі аналізу R-R інтервалів методами спектрального аналізу та варіаційної пульсометрії. Тому пропонуємо під час виконання цього тесту проводити реєстрацію ЕКГ та подальший аналіз динаміки напруження регуляторних механізмів при підвищенні рівня складності тесту. Така інформація може бути критично важливою при відборі до спеціальностей, в яких від адекватності дій військовослужбовців в ситуаціях інформаційного перенавантаження залежать життя та безпека багатьох людей.

Аналіз результатів дослідження структури інтелекту за комп'ютерною модифікацією тесту TSI показав, що оскільки коефіцієнт надійності частин тесту (за методом "розщеплення") дорівнює 0,97, можна виділити субтести, які визначають вербальний, математичний та конструктивний інтелект. Модифікація комп'ютерної методики на основі тесту TSI полягала в тому, що був створений його модульний комп'ютерний варіант, який дозволяє як дослідити повну структуру інтелекту, так і окремі функції інтелекту, а саме: вербальний, математичний або конструктивний інтелект. Тест дослідження повної структури інтелекту за методикою TSI триває 1,5 години, але для певних спеціальностей достатньо тестування окремих властивостей. Так, згідно [20, 33] кожен з субтестів спрямований на вимірювання різних функцій інтелекту, які групуються в комплекси оцінки вербального інтелекту, наявності загальної орієнтація на суспільні науки і вивчення іноземних мов; оцінки математичної обдарованості (визначає здібності в області практичної математики і програмуванні) та оцінки конструктивного інтелекту, за рівнем розвитку якого можна рекомендувати вибір професії, яка пов'язана з природничо-технічними науками і відповідною практичною діяльністю.

Для розробки та застосування технологій оцінки рівня розвитку професійно важливих якостей та функціонального стану військовослужбовців (працівників) у системі психофізіологічного забезпечення службової (трудої) діяльності крім оцінки вроджених психофізіологічних та когнітивних можливостей необхідно враховувати низку зовнішніх факторів. Перелік цих чинників та констатація їх важливості під час вирішення окремих завдань забезпечення службової (трудої) діяльності представлений на рис. 4 [33].

Дійсно, при вирішенні завдання професійного відбору та профорієнтації необхідно враховувати комплекс гігієнічних факторів, компоненти яких неоднаково діють на організм кожної людини. Зазначений ефект викликаний тим, що специфічний вплив кожного компонента гігієнічного фактору пов'язаний із генетичними, фізіологічними та психологічними особливостями організму військовослужбовця (працівника). Наприклад, фізичні навантаження, зумовлені професійною діяльністю (пересування важких речей, вимушена поза при виконанні завдань за призначенням та інші можуть бути дуже шкідливими

для певних людей). Крім того, режими службової діяльності, які також належать до гігієнічного фактору, значною мірою визначають професійну придатність військовослужбовця (працівника). Це відбувається з кількох причин. Справа в тому, що фізіологічні резерви організму людини обмежені та їх надінтенсивне та тривале використання призводить до розвитку перевтоми та накопичення хронічної втоми у військовослужбовців (працівників). Наслідком формування таких станів є суттєве зниження працездатності та надійності професійної діяльності, що додатково призводить до почастішання нещасних випадків, аварій та інших несприятливих подій. Крім того, професійна діяльність деяких фахівців пов'язана з роботою в нічний час. Для такої роботи необхідно мати деякі специфічні особливості організму, пов'язані з відсутністю чи низькими значеннями проявів добових ритмів фізіологічних функцій. Виявлення людей із такими характеристиками організму дає можливість знизити фізіологічну вартість діяльності, зберегти здоров'я та професійне довголіття військовослужбовців (працівників).

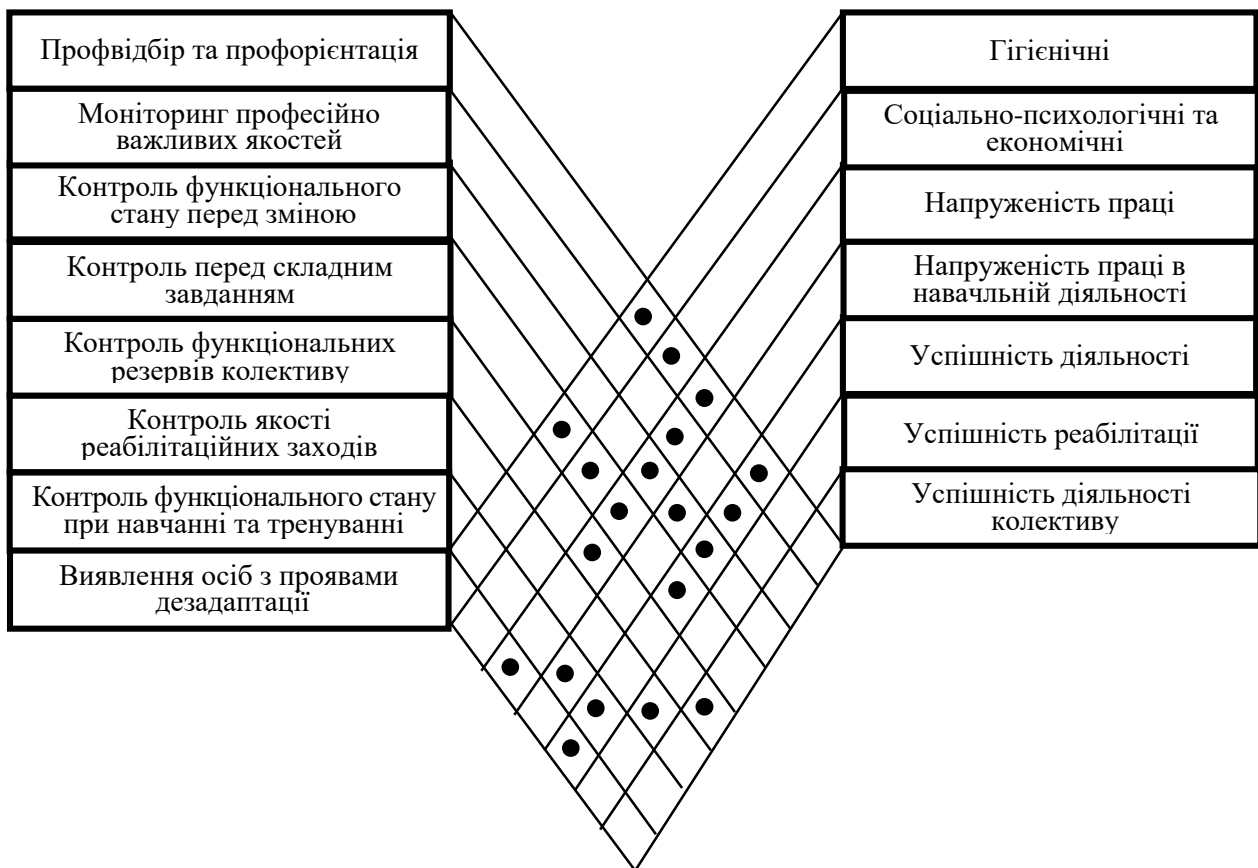


Рисунок 4 - Задачі системи професійного забезпечення службової (трудової) діяльності та зовнішні фактори, які впливають на вирішення цих задач. ● - значна важливість урахуванні параметрів зовнішнього фактору для вирішення задачі

Важливою для якісної реалізації діяльності є мотивація, рівень якої значною мірою визначається соціально-психологічними та економічними факторами. Ці чинники складним, нелінійним чином впливають на мотивацію військовослужбовця (працівника). Причому такий вплив може бути як позитивним, так і негативним. Тому зазначеним факторам потрібно приділяти підвищену увагу та безпосередньо враховувати їх наявність і вплив на працездатність під час проведення професійного відбору та професійної орієнтації спеціалістів.

Ще одним фактором, що як правило, відноситься до гігієнічних, є фактор напруженості проходження службової діяльності (праці). Приділення окремої уваги цьому фактору пов'язане з тим, що він сприяє розвитку стресу у військовослужбовців (працівників) з

урахуванням діючої на їхню нервову систему інформаційного та сенсорного навантаження. Його складовими є зміст роботи, інтенсивність сенсорного та емоційного навантаження, монотонність діяльності, режими праці та їхня організація.

Необхідно наголосити, що діяльність багатьох сучасних фахівців пов'язана з розвитком стану монотонії. Цей специфічний стан пов'язаний з тривалою реалізацією однорідної достатньо простої роботи, обумовленої комп'ютеризацією та автоматизацією в багатьох сферах діяльності. Воно притаманне операторській праці, яка нині поширена повсюдно, а також з діяльністю операторів радіолокаційних станцій, спостерігачів за різноманітними процесами тощо. Стан монотонії, спричинений виконанням такої діяльності, формується через 20-40 хв. після її початку. За своїми характеристиками цей стан схожий зі станом втоми з притаманними їй наслідками (зниження працездатності та надійності діяльності).

Ключовим показником, необхідним розробки критеріїв професійної придатності військовослужбовця (фахівця), є показник успішності його діяльності. Дійсно, відправною точкою для здійснення орієнтації у підборі та обґрунтуванні переліку професійно важливих якостей, а також у розробці критеріїв професійного відбору є ефективність роботи військовослужбовця (спеціаліста). У деяких видах праці отримати кількісну оцінку такого показника є досить легко. Наприклад, таким показником успішності діяльності може бути продуктивність службової діяльності. В інших випадках із тих чи інших причин принципово відсутня можливість отримання такого показника. Тому застосовують інші прямі та непрямі, об'єктивні та суб'єктивні підходи для оцінок ефективності професійної (службової) діяльності, отримання яких у даному повідомленні розглядати недоцільно.

Перелік описаних факторів передбачений не тільки під час вирішення завдань професійного відбору та професійної орієнтації. Їх використовують і під час вирішення інших завдань, що буде представлено надалі.

Особлива увага при організації супроводу професійної (службової) діяльності осіб з підвищеною напруженістю, відповідно своїх функціональних обов'язків, приділяється моніторингу професійно-важливих якостей військовослужбовця (працівника). Справа в тому, що напружена робота, як правило, призводить до поступового погіршення проявів професійно важливих якостей військовослужбовця (працівника). Звичайно, кожен фахівець найчастіше працює не на межі своїх можливостей, а має певний «запас міцності». Проте цей запас поступово руйнується і його критичне зменшення може несподівано для командира, начальника або керівника установи призвести до зриву діяльності фахівця. Для запобігання таких подій, а також з метою збереження здоров'я військовослужбовця (працівника), здійснюється моніторинг його професійно важливих якостей, в якому враховується напруженість праці та ефективність його службової діяльності. Ці два чинники є провідними для визначення алгоритму подальшого використання професійних зусиль військовослужбовця (працівника) [33].

Оцінка напруженості праці необхідна для визначення подальшого змісту діяльності військовослужбовця (працівника). Якщо напруженість праці в подальшій роботі змінюється – це слід відобразити в рекомендаціях щодо подальшого використання зусиль військовослужбовця (працівника) в його службовій діяльності. Крім того, цей показник є вирішальним при плануванні періодичності проведення моніторингу – посилення напруженості службової діяльності дає сигнал для зменшення проміжків між обстеженнями психофізіологічних якостей військовослужбовця (працівника). Зручним важелем контролю правильності прийнятого рішення про періодичність моніторингу є показник ефективності службової діяльності. При його погіршенні необхідно зрозуміти причини появи такого явища та вчасно розробити заходи щодо для припинення проявів такої тенденції.

Завдання контролю функціонального стану військовослужбовця (працівника) перед службовою діяльністю має власну специфіку. Вона здійснюється у професіях з високою напруженістю службової діяльності та відповідальністю за результати прийнятих рішень. Специфікою здійснення такого контролю є невеликий час для його реалізації, його масовість, що виключає можливість залучення великої кількості високоосвідчених дослідників, а також вірогідна необлаштованість спеціальними діагностичними пристроями та некомфортність його проведення. Якщо ці організаційні труднощі будуть подолані, допуск на роботу має

здійснюватися з урахуванням чинників напруженості службової діяльності та ефективності минулої діяльності військовослужбовця (спеціаліста).

У процесі виконання багатьох робіт із підвищеною напруженістю службової діяльності можуть виникати планові чи непередбачувані ситуації, коли при виконанні професійного завдання з'являються роботи підвищеної складності. У разі виникнення потреби у використанні зусиль військовослужбовця (працівника) в нестандартних, непередбачуваних чи ускладнених умовах професійної діяльності вкрай потрібна оцінка його готовності виконати цю роботу. Як і у випадку з передзмінним контролем, специфікою проведення такого обстеження є його оперативність. Крім того, спираючись на складність виконання очікуваних завдань, необхідно враховувати інтенсивність та зміст умов службової діяльності, що визначаються гігієнічним фактором, мотивацію виконавця (багато в чому визначається соціально-психологічним та економічним факторами), передбачувану напруженість службової діяльності, а також ефективність діяльності військовослужбовця (працівника) у подібних ситуаціях.

Багато сучасних видів робіт пов'язані з колективною діяльністю. У таких випадках виникає важливе завдання контролю функціональних резервів колективу, який виконує відповідальну роботу. Значимість вирішення цього завдання пов'язана з тим, що комплектація колективу може бути істотно різного рівня від несприятливої до сприятливої. Якість цієї комплектації суттєво позначається на успішності колективної діяльності, а також прямо і побічно на функціональному стані кожного члена колективу. Вирішення задачі про оцінку функціональних резервів колективу дає кількісне уявлення про якість підбору членів колективу та напрям можливих позитивних змін в ефективності його діяльності.

Вирішення обговорюваної задачі, як і у випадку з передзмінним контролем, пов'язане з його масовістю. При цьому, у разі її реалізації передбачається отримання результатів, що мають позитивний ефект, оскільки отриманий інтегральний показник дає змогу командирю, (начальнику чи керівнику) орієнтуватися в складеній ситуації, виробляти адекватні рішення щодо поліпшення складу колективу. Ще однією позитивною властивістю отримання такої оцінки є відсутність психологічних оцінок, що вимагають розкриття подробиць взаємовідносин окремих військовослужбовців (працівників) колективу, точність та сталість отримання яких є дуже сумнівною при проведенні масових обстежень навіть досвідченими психологами. Разом з тим, отримана кількісна інформація про функціональні резерви колективу дає можливість як контролювати цей показник та оцінювати динаміку його трансформацій при зміні параметрів службового (трудоного) середовища.

Багато видів напружених робіт зрештою призводять до порушення функціонального стану спеціаліста. Причини таких порушень можуть бути найрізноманітнішими, але найчастіше пов'язаними з перенапругою діяльності нервової системи військовослужбовця (працівника). У цьому випадку профілактичні заходи, що застосовуються, не дають належного ефекту, що вимагає використання комплексу реабілітаційних заходів. Контроль якості зазначеного відновлення функцій організму дозволяє не лише оцінювати ефективність їх реалізації, а й планувати використання інших більш адекватних для розглянутого випадку реабілітаційних заходів, удосконалювати методи реабілітації та давати рекомендації щодо режиму та змісту подальшої діяльності військовослужбовця (працівника). Для якісної оцінки цих дій необхідно використати дані медичних критеріїв успішності реабілітації.

Одним із специфічних видів діяльності є навчання та тренування майбутніх спеціалістів. При виконанні слухачами цієї роботи у них може погіршуватись функціональний стан завдяки розвитку перенапруження відповідних функціональних систем. Наявність цих негативних змін може засвідчувати про, по-перше, значну складність засвоєваних знань, а по-друге, нераціональність організації учбового процесу. В першому випадку потрібно змінювати організацію подачі учбового матеріалу, а в другому - трансформувати режим праці та відпочинку. В будь-якому випадку значне погіршення функціонального стану слухачів може служити об'єктивним індикатором необхідності застосування тих чи інших заходів для раціоналізації учбового процесу як з боку викладачів, так і з боку самих слухачів. Для реалізації оцінки функціонального стану слухачів в процесі набуття знань та тренування

навичок потрібне застосування спеціальних психофізіологічних тестових процедур, з допомогою яких можна вирішувати декілька завдань. По-перше, оцінювати успішність тренувань психофізіологічних якостей людини. По-друге, визначати шкідливість того чи іншого виду учбової діяльності. По-третє, оцінювати шкідливість нераціонального режиму праці та відпочинку слухачів. В будь-якому випадку можна мати інформацію щодо оптимізації учбового процесу шляхом мотивування слухачів застосовувати профілактичні та відновлювальні заходи, а викладачів - раціонально і об'єктивно планувати навчальне навантаження і вчасно давати можливість слухачам відновлювати їх психофізіологічні якості.

Для вирішення цієї задачі потрібно залучати інформацію щодо напруженості службової діяльності та успішності виконання завдань оцінюваною особою. В процесі інтенсивної роботи можуть виникати ситуації, коли у людини формується ознаки дезадаптації. Розвиток такого стану шкодить не тільки здоров'ю спеціаліста, але й негативно впливає на емоційний стан колективу, в якому він працює. В такому випадку виникає задача встановлення осіб з ознаками вираженої дезадаптації для розробки рекомендацій для командирів, начальників, керівників, медичного персоналу та осіб, у яких розвинувся цей стан. Для вирішення цієї задачі потрібно залучати інформацію щодо напруженості службової діяльності та успішності виконання завдань оцінюваною особою. Центральною ланкою, що забезпечує проведення досліджень, вкладених у вирішення завдань системи психофізіологічного забезпечення службової діяльності, є комплекс використовуваних методичних підходів. Тут важливим є аспект універсальності застосовуваних методик, які можуть використовуватись для дослідження представників різних спеціальностей у військовій справі. Ця вимога поширюється на вирішення різних завдань забезпечення службової (трудої) діяльності. Декларована універсальність, перш за все, необхідна для отримання порівнюваних результатів за різними спеціальностями і при вирішенні різних завдань, оскільки людина, з тих чи інших причин, може змінювати напрям своєї діяльності. З іншого боку, застосування універсальних підходів до дослідження властивостей людини дозволить встановити специфічні особливості кожної професії під час вирішення необхідних завдань [33].

Комплекс методичних підходів для реалізації завдань психофізіологічного забезпечення службової діяльності представлений на рис. 5.

З рисунка видно, що для вирішення кожного з завдань потрібен відповідний набір методичних підходів. Деякі із завдань вимагають застосування всього викладеного набору методик, наприклад, при проведенні професійного відбору. Інші завдання вимагають набагато менше дослідницького ресурсу. Необхідно підкреслити, що психофізіологічні та фізіологічні дослідження можуть бути повністю автоматизовані. Дослідження соціально-психологічних та психологічних характеристик, в основному, пов'язані із застосуванням спеціальних опитувальників. Ці дослідження теж можуть бути автоматизовані, але за масового опитування вимагатимуть наявності великої кількості гаджетів. Медичні дослідження мають значну різноманітність та виражену специфіку. Застосування зазначених методичних прийомів дає можливість отримати інформацію, достатню на вирішення поставлених завдань супроводу службової (трудої) діяльності.

Резюмуючи викладене доцільно відзначити, що комплексний підхід щодо удосконалення системи забезпечення психофізіологічного забезпечення службової (трудої) діяльності у воєнній сфері на основі модифікації модульної системи оригінальних комп'ютерних психодіагностичних тестів, який поєднує як кількісне визначення ефективності психофізіологічних та когнітивних функцій, так і електроенцефалографічне та електрокардіографічне обстеження, в результаті яких визначаються особливості нейронних мереж мозку людини, які задіяні в реалізації певних функцій та оцінюється рівень складності виконання певних тестів, а також врахування факторів службового (трудого) середовища дослідження яких дозволить доповнити та конкретизувати вимоги до організму людини, що працює в певних умовах зовнішнього середовища та з певним режимом службової діяльності (праці) та відпочинку є високоефективним і має право для впровадження в кадрову політику ЗСУ.

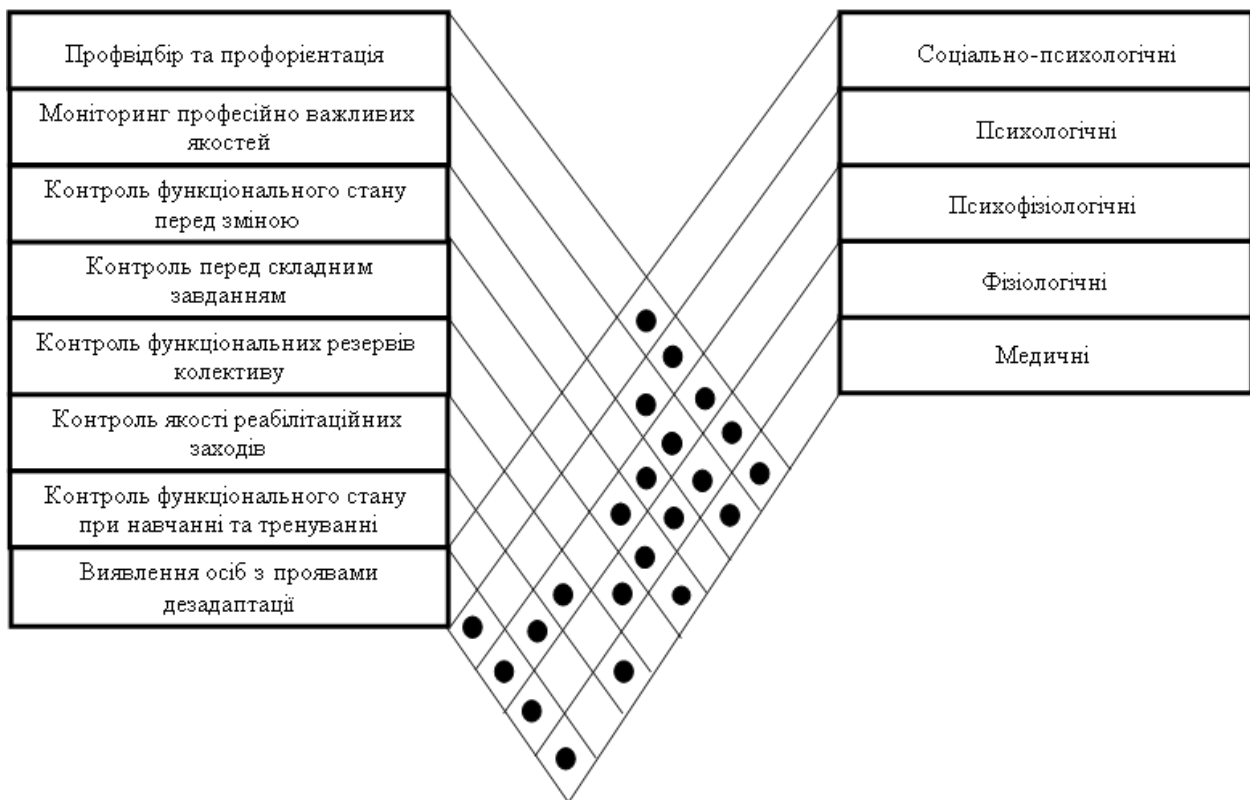


Рисунок 5 – Задачі системи професійного забезпечення службової (трудової) діяльності, особисті характеристики людини, які впливають на вирішення цих задач. ● - значна важливість урахуванні параметрів внутрішнього фактору для вирішення задачі

Висновки:

1. Проведено аналіз сучасних тенденцій розвитку і нормативних документів, що регламентують кадрову політику армії та МО України. Він показав, що в сучасному світі ставляться нові задачі перед військовим рекрутингом, а саме "підвищення кваліфікації" або навчання військовослужбовців у середині кар'єрного шляху за рахунок застосування сучасних технологій, які активно прагнуть об'єднати біо-, нано-, інфо- та нейроелементи.

2. Сформульовано основні завдання системи психофізіологічного супроводу службової (трудової) діяльності одним із головних є довгострокове визначення професійного шляху військовослужбовця, яке сприяє успішності його подальшої кар'єри та допомагає збереженню здоров'я.

3. Виділено зовнішні та внутрішні фактори службового (трудового) середовища дослідження яких дозволить доповнити та конкретизувати вимоги до організму людини, що працює в певних умовах зовнішнього середовища та з певним режимом службової діяльності (праці) та відпочинку.

4. Представлено задачі системи професійного забезпечення службової (трудової) діяльності, особисті характеристики людини, які впливають на вирішення цих задач.

5. Запропоновано комплексний підхід щодо удосконалення системи забезпечення психофізіологічного забезпечення службової (трудової) діяльності у воєнній сфері на основі модифікації модульної системи оригінальних комп'ютерних психодіагностичних тестів, який поєднує як кількісне визначення ефективності психофізіологічних та когнітивних функцій, так і електроенцефалографічне та електрокардіографічне обстеження, в результаті яких визначаються особливості нейронних мереж мозку людини, які задіяні в реалізації певних функцій та оцінюється рівень складності виконання певних тестів, а також врахування факторів службового (трудового) середовища дослідження яких дозволить доповнити та конкретизувати вимоги до організму людини, що працює в певних умовах зовнішнього

середовища та з певним режимом службової діяльності (праці) та відпочинку є високоефективним і має право для впровадження в кадрову політику ЗСУ.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Schraagen J. M. Cognitive task analysis / J. M. Schraagen, S. F. Chipman, V. L. Shalin., Psychology Press. 2000. – 547 p.
2. Wei J. The cognitive task analysis methods for job and task design: Review and reappraisal. / J. Wei, G. Salvendy. // Behaviour & Information Technology. – 2004. – №23. – P. 273–299.
3. RTO TECHNICAL REPORT TR-HFM-171“Psychological and Physiological Selection of Military Special Operations Forces Personnel (Sélection psychologique et physiologique des militaires des forces d’opérations spéciales.” (2012). 66p. Corpus ID: 40530241
4. Електронний ресурс: <https://www.ausa.org/articles/soldiers-come-first-people-are-key-armys-success-csa-says>
5. Електронний ресурс: https://www.army.mil/article/239925/the_time_is_now_to_transform_the_army_says_csa
6. Електронний ресурс: https://www.army.mil/article/237571/a_message_from_the_army_senior_leaders_to_all_soldiers_civilians_family_members_and_soldiers_for_life
7. Електронний ресурс: <https://warontherocks.com/2020/08/dont-just-copy-and-paste-a-better-model-for-managing-military-technologists/>
8. Електронний ресурс: <https://talent.army.mil>
9. Електронний ресурс: <https://www.armytimes.com/news/your-army/2021/10/13/army-bets-on-data-as-it-sets-stage-for-talent-management-revolution/>
10. Reding D.F., Eaton J. Science & Technology Trends 2020-2040 // Technical Report, Summary Report. - NATO Science & Technology Organization, Office of the Chief Scientist, NATO Headquarters, B-1110 Brussels, Belgium .- 2020. - 153 p. https://www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/2020/4/pdf/190422-ST_Tech_Trends_Report_2020-2040.pdf
11. Наказ Міністра оборони України від 14.09.2021 № 280 «Про затвердження Концепції військової кадрової політики Міністерства оборони України на період до 2025 року».
12. Наказ Міністерства оборони України від 10.12.2014 № 883 “Про затвердження Інструкції з організації професійно-психологічного відбору у Збройних Силах України.
13. Наказ Міністерства оборони України від 25.09.2019 № 502 «Про затвердження Змін до Інструкції про організацію виконання Положення про проходження громадянами України військової служби у Збройних Силах України».
14. Chaichenko G.M., Tomilina L.G., Filimonova N.B. Some mechanisms of the human mental efficiency// Pflugers Archiv.European J.Physiol. - 1995. - Suppl.to vol.430, № 4. - p. 45.
15. Методическое и техническое обеспечение психофизиологических исследований. – М.: Наука, 1986. – 79 с.
16. Filimonova, N.B., Makarchuk, M.Y., Zyma, I.G., Kal’nysh, V.V. , Cheburkova A. F. Brain Network Connectivity and the Choice Motor Reaction in Combatants with Mild Traumatic Brain Injuries. Neurophysiology 52, 201–211 (2020). <https://doi.org/10.1007/s11062-020-09872-3>
17. Методика и техника психофизиологического эксперимента / Под ред. В.Г.Волкова. – М.: Наука, 1987. – 102 с.
18. Філімонова Н.Б., Куценко Т.В., Макачук М.Ю. Особливості обробки зорової вербальної та невербальної інформації в оперативній пам’яті людини // Фізика живого – 2006 – Т.14. - № 3. – С. 75 – 86.
19. Макачук М.Ю., Трушина В.А., Філімонова Н.Б., Чікіна Л.В., Федорчук С.В., Плаксієв Ю.С., Мамілов С.О. Оцінка здатності людини до виконання завдань зростаючого рівня складності // Фізика живого. – 2007 – Т.15. - № 2. – С. 66-72.
20. Елисеєв О. Тест структуры интеллекта (TSI) Амтхауэра: Практикум по психологии личности / О. Елисеєв. – Питер, 2001. – 560 с.
21. Ильин Е. П. Психомоторная организация человека. СПб.: Питер. - 2003. - 382с.
22. Макаренко Н.В. Психофизиологические функции человека и операторский труд. – Киев: Наукова думка, 1991. – 216 с.

23. Е.П. Кринчик, П. Д. Медникаров, А. И. Назаров, Л. В. Бороздина, Б. М. Михалевская, Л. Н. Александрова, Ю. Б. Гиппенрейтер и др. Практикум по психологии. - М. : Изд-во Моск. ун-та – 1972. - 248 с.
24. Макаrchук М.Ю., Філімонова Н.Б. Пропорція золотого перетину в здійсненні сенсомоторної реакції та реакції вибору як психофізіологічна характеристика здатності до обробки інформації в ЦНС людини // Фізика живого – 2003.-Т.11– № 2 –С.5-13.
25. Filimonova N., Makarchuk M., Zyma I., Kalnysh V., Cheburkova A., Torgalo E. *Features of interregional interaction in the brain of military men with traumatic brain injuries during testing visual working memory on complex stimuli* // Bulletin of Cherkasy University. Series: Biological Sciences N.1, 2019.P.91-102.DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2019-1-91-102 <http://bio-ejournal.cdu.edu.ua/article/view/3369/pdf>.
26. Філімонова Н.Б., Горго Ю.П., Чайченко Г.М. Критерій професійної придатності людини на основі визначення її психофізіологічного стану. // В кн.: "Особливості формування та становлення психофізіологічних функцій в онтогенезі", Мат.смп., Київ-Черкаси, 1999, с.98.
27. Cowan N, Fristoe NM, Elliott EM, Brunner RP, Sauls JS. Scope of attention, control of attention, and intelligence in children and adults. *Memory & Cognition*. 2006; 34:1754–1768. DOI:10.3758/BF03195936
28. Ricker, T. J., & Cowan, N. Differences between presentation methods in working memory procedures: A matter of working memory consolidation. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, (2014) 40(2), 417–428. <https://doi.org/10.1037/a0034301>
29. Weiss H. and Weiss V. The golden mean as clock cycle of brain waves. *Chaos, Solitons and Fractals* 18 (2003) No. 4, 643-652.
30. Alvarez G.A. , Cavanagh J. P. The Capacity of Visual Short-Term Memory Is Set Both by Visual Information Load and by Number of Objects *Psychological Science* Volume 15 Issue 2 Page 106 - February 2004.
31. Cowan N. *Working Memory Capacity*. - New York, Routledge. -2016. - 238 p.<https://doi.org/10.4324/9781315625560>
32. Бурлачук Л. Ф. Психодіагностика. - СПб.: Питер, 2003. — 351с.
33. Кальниш В.В. Фізіолого-гігієнічні особливості процесу реабілітації військовослужбовців після перебування в зоні бойових дій: Монографія. – Вінниця: ТОВ «Меркьюрі-Поділля», 2020. – 300 с.

REFERENCES:

- Schraagen J. M. *Cognitive task analysis* / J. M. Schraagen, S. F. Chipman, V. L. Shalin., Psychology Press. 2000. – 547 p.
- Wei J. The cognitive task analysis methods for job and task design: Review and reappraisal. / J. Wei, G. Salvendy. // *Behaviour & Information Technology*. – 2004. – №23. – P. 273–299.
- RTO TECHNICAL REPORT TR-HFM-171 "Psychological and Physiological Selection of Military Special Operations Forces Personnel (Sélection psychologique et physiologique des militaires des forces d'opérations spéciales." (2012). 66p. Corpus ID: 40530241
- AUSA (2022) available at: <https://www.ausa.org/articles/soldiers-come-first-people-are-key-armys-success-csa-says>
- Army.mil (2022) available at: https://www.army.mil/article/239925/the_time_is_now_to_transform_the_army_says_csa
- Available at: https://www.army.mil/article/237571/a_message_from_the_army_senior_leaders_to_all_soldiers_civilians_family_members_and_soldiers_for_life
- Available at: <https://warontherocks.com/2020/08/dont-just-copy-and-paste-a-better-model-for-managing-military-technologists/>
- Available at: <https://talent.army.mil>
- Available at: <https://www.armytimes.com/news/your-army/2021/10/13/army-bets-on-data-as-it-sets-stage-for-talent-management-revolution/>
- Reding D.F., Eaton J. *Science & Technology Trends 2020-2040* // Technical Report, Summary Report. - NATO Science & Technology Organization, Office of the Chief Scientist, NATO Headquarters, B-1110 Brussels, Belgium .- 2020. - 153 p. https://www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/2020/4/pdf/190422-ST_Tech_Trends_Report_2020-2040.pdf

11. Nakaz Ministra obrony Ukrai'ny vid 14.09.2021 № 280 «Pro zatverdzhennja Konceptii' vijs'kovoï kadrovoi' polityky Ministerstva obrony Ukrai'ny na period do 2025 roku».
12. Nakaz Ministerstva obrony Ukrai'ny vid 10.12.2014 № 883 “Pro zatverdzhennja Instrukcii' z organizacii' profesijno-psychologichnogo vidboru u Zbrojnyh Sylah Ukrai'ny.
13. Nakaz Ministerstva obrony Ukrai'ny vid 25.09.2019 № 502 «Pro zatverdzhennja Zmin do Instrukcii' pro organizaciju vykonannja Polozhennja pro prohodzhennja gromadjanamy Ukrai'ny vijs'kovoï sluzhby u Zbrojnyh Sylah Ukrai'ny».
14. Chaichenko G.M., Tomilina L.G., Filimonova N.B. Some mechanisms of the human mental efficiency// Pflugers Archiv.European J.Physiol. - 1995. - Suppl.to vol.430, № 4. - p. 45.
15. Metodicheskoe i tehničeskoe obespečenie psihofiziologičeskikh issledovanij (1986), Nauka, M., 79 p.
16. Filimonova, N.B., Makarchuk, M.Y., Zyma, I.G., Kal'nysh, V.V. , Cheburkova A. F. Brain Network Connectivity and the Choice Motor Reaction in Combatants with Mild Traumatic Brain Injuries. *Neurophysiology* 52, 201–211 (2020). <https://doi.org/10.1007/s11062-020-09872-3>
17. Metodika i tehnika psihofiziologičeskogo jeksperimenta (1987) Pod red. V.G.Volkova. Nauka M., 102 p.
18. Filimonova N.B., Kucenko T.V. and Makarchuk M.Ju. (2006). Osoblyvosti obrobky zorovoï verbal'noi' ta neverbal'noi' informacii' v operatyvniĵ pam'jati ljudyňy. *Fizyka zhyvogo*. Vol.14, no. 3, pp. 75 – 86.
19. Makarchuk M.Ju., Trushyna V.A., Filimonova N.B., Chikina L.V., Fedorchuk S.V., Plaksij Ju.S. and Mamilov S.O.(2007) Ocinka zdatnosti ljudyňy do vykonannja zavdan' zrostajučoho rivnja skladnosti. *Fizyka zhyvogo*. Vol.15, no 2, pp. 66-72.
20. Eliseev O. (2001), Test struktury intellekta (TSI) Amthaujera: Praktikum po psihologii lichnosti. Piter 560 p.
21. Il'in E.P. (2003), Psihomotornaja organizacija cheloveka. SPb.: Piter, 382p.
22. Makarenko N.V. (1991), Psihofiziologičeskie funkcii cheloveka i operatorskij trud. Kiev: Naukova dumka, 216 p.
23. E.P. Krinchik, P. D. Mednikarov, A. I. Nazarov, L. V. Borozdina, B. M. Mihalevskaĵa, L. N. Aleksandrova, Ju. B. Gippenrejter (1972), Praktikum po psihologii. M. : Izd-vo Mosk. un-ta, 248 p.
24. Makarchuk M.Ju., Filimonova N.B. (2003), Proporcija zolotogo peretynu v zdijsnenni sensomotornoi' reakcii' ta reakcii' vyboru jak psihofiziologična harakterystyka zdatnosti do obrobky informacii' v CNS ljudyňy. *Fizyka zhyvogo*. Vol.11, no 2, pp.5-13.
25. Filimonova N., Makarchuk M., Zyma I., Kalnysh V., Cheburkova A., Torgalo E. *Features of interregional interaction in the brain of military men with traumatic brain injuries during testing visual working memory on complex stimuli // Bulletin of Cherkasy University. Series: Biological Sciences* N.1, 2019.P.91-102.DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2019-1-91-102 <http://bio-journal.cdu.edu.ua/article/view/3369/pdf>.
26. Filimonova N.B., Gorgo Ju.P., Chajchenko G.M. (1999), Kryterij profesijnoi' prydatnosti ljudyňy na osnovi vyznachennja i'i' psihofiziologičnogo stanu. "Osoblyvosti formuvannja ta stanovlennja psihofiziologičnyh funkcij v ontogenezi", *Mat.symp.*, Kyi'v-Cherkasy, 98p.
27. Cowan N, Fristoe NM, Elliott EM, Brunner RP, Sauls JS. Scope of attention, control of attention, and intelligence in children and adults. *Memory & Cognition*. 2006; 34:1754–1768. DOI:10.3758/BF03195936
28. Ricker, T. J., & Cowan, N. Differences between presentation methods in working memory procedures: A matter of working memory consolidation. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, (2014) 40(2), 417–428. <https://doi.org/10.1037/a0034301>
29. Weiss H. and Weiss V. The golden mean as clock cycle of brain waves. *Chaos, Solitons and Fractals* 18 (2003) No. 4, 643-652.
30. Alvarez G.A. , Cavanagh J. P. The Capacity of Visual Short-Term Memory Is Set Both by Visual Information Load and by Number of Objects *Psychological Science* Volume 15 Issue 2 Page 106 - February 2004.
31. Cowan N. *Working Memory Capacity*. - New York, Routledge. -2016. - 238 p.<https://doi.org/10.4324/9781315625560>
32. k Burlachuk L.F. (2003), Psihodiagnostika. SPb.: Piter, 351p.
33. Kal'nysh V.V. (2020), Fiziologo-gigijenični osoblyvosti procesu rehabilitacii' vijs'kovosluzhbovciv pislja perebuвання v zoni bojovyh dij: Monografija. Vinnyca: Publ. Merk'juri-Podillja, 300 p.

**Doctor of Biological Sciences, Professor Kalnysh V.V.,
PhD Loza V.M., Doctor of Biological Sciences Makarchuk M.Yu., PhD Nikiforov M.M.,
PhD Pampukha I.V., PhD Popkov B.O., PhD Filimonova N.B.**

**IMPROVED METHODOLOGY FOR CREATING A MILITARY SPECIALTIES PROFILE FOR
PSYCHOPHYSIOLOGICAL SUPPORT OF SERVICE (LABOUR) ACTIVITIES IN THE MILITARY
DOMAIN**

The necessity to define the specific psychophysiological, mental and physical features of military personnel needed for certain service activities, is stipulated by the fact that there is a need for a quick selection of military specialists capable of performing the assigned missions, a definition of military personnel's professional suitability to perform combat assignments, etc., during the martial law. In addition to the inherent abilities, such as musical, mathematical and other abilities, person's capabilities are limited by the inherent qualities of the central nervous system. Training of some features is limited and possible only to a certain extent. The inherent qualities of the central nervous system stipulate the efficiency of a person's professional activity, depending on the range of individual and typical qualities and functional state of the central nervous system, and also on personal features, which ensure coordination of psychophysiological manifestations of the functional state, its qualitative originality.

According to the acting regulatory and legal documents regulating the personnel policy of the Armed Forces of Ukraine, "human capital of the Armed Forces is a set of abilities, personal traits and motivations formed and developed in the course of corresponding training and possessed by the personnel, which are used in the official duties, contribute to the growth of professional competence and thereby impact the level of combat readiness of troops". It means selecting the candidates who are best qualified for a given military speciality by their psychophysiological characteristics. The relevance of the research is conditioned by the fact that there is a high dynamic of re-equipping structural units of the Armed Forces of Ukraine with advanced weapons and military equipment and present-day requirements to the military personnel as a whole. It demands a continuous improvement of the psychophysiological support system for service (labour) activities in the military domain. This is a complex multicomponent system requiring the involvement of different specialists for implementation.

The article presents the upgrading of the system based on the improvement of the methodology for creating a military specialties profile using a modified modular system of original computerized psychodiagnostic tests which combines both quantity determination of the psychophysiological and cognitive functions' efficiency and electroencephalographic and electrocardiographic tests helping to define human brain neuro networks involved in performing some functions and to evaluate the difficulty level of performing some tests. The given modification enables to raise the efficiency and reliability of evaluation of the inherent complex indicators of the military (employee) central nervous system needed for the elaboration and application of technologies for the development of professionally critical features and their functional state. Moreover, in addition to the evaluation of the inherent psychophysiological and cognitive capabilities, it is essential to foresee and consider a series of external and internal factors of the service (labour) environment, researched in detail and described in the article. These factors will supplement and specify the requirements for the organism of a person serving in certain conditions of the external and internal environment and with a particular regime of the service (labour) activity and rest.

Keywords: military personnel policy, motivated personnel, psychophysiological support, military-professional activity.

Дані про авторів

Бабій Юлія Олександрівна, доктор технічних наук, головний редактор редакційного відділення видавництва Національної академії Державної прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького, ORCID: 0000-0001-7310-8715.

Бандурка Олена Іванівна, аспірант, Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", ORCID: 0000-0002-8059-1861.

Барабаш Андрій Олегович, аспірант кафедри інформаційних систем і технологій Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», ORCID: 0000-0001-8433-2827.

Барабаш Олег Володимирович, доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", ORCID: 0000-0003-1715-0761.

Баранов Андрій Миколайович, кандидат технічних наук, доцент кафедри тактики підрозділів бойового (оперативного) забезпечення, факультет підготовки спеціалістів бойового (оперативного) забезпечення, Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, ORCID: 0000-0003-0079-7278.

Баранов Юрій Миколайович, кандидат технічних наук, старший викладач кафедри тактики підрозділів бойового (оперативного) забезпечення, факультет підготовки спеціалістів бойового (оперативного) забезпечення, Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, ORCID: 0000-0003-4294-4862.

Бурлесв Олег Леонідович, кандидат технічних наук, доцент кафедри «Економічної кібернетики, фінансів та менеджменту», декан Приватного вищого навчального закладу «Український гуманітарний інститут», ORCID: 0000-0002-6450-8618.

Власенко Мирослава Миколаївна, інженер кафедри кібербезпеки та комп'ютерної інженерії Київського національного університету будівництва і архітектури, ORCID: 0000-0001-6953-1078.

Гусак Юрій Аркадійович, доктор військових наук, професор, головний науковий співробітник, Центральний науково-дослідний інститут Збройних Сил України, ORCID: 0000-0002-3423-2112.

Джулій Володимир Миколайович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри кібербезпеки та комп'ютерних систем і мереж Хмельницького національного університету, ORCID: 0000-0003-1878-4301.

Живило Євген Олександрович, кандидат наук з державного управління, начальник кафедри зв'язку та автоматизованих систем управління інституту забезпечення військ (сил) та інформаційних технологій Національного університету оборони України імені Івана Черняхівського, ORCID: 0000-0003-4077-7853.

Жиров Генадій Борисович, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, доцент кафедри радіотехніки та радіоелектронних факультету радіофізики, електроніки та комп'ютерних систем Київського національного університету імені Тараса Шевченка, ORCID: 0000-0001-7648-7992.

Замрій Ірина Вікторівна, кандидат фізико-математичних наук, доцент, директор навчально-методичного центру Державного університету телекомунікацій, ORCID: 0000-0001-5681-1871.

Зінчик Андрій Григорович, кандидат технічних наук, доцент кафедри Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка, ORCID: 0000-0003-4029-2282.

Кальниш Валентин Володимирович, доктор біологічних наук, професор, провідний науковий співробітник Київського національного університету імені Тараса Шевченка, ORCID: 0000-0002-5033-6659.

Касім Намір Хашім, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри кібербезпеки та комп'ютерної інженерії Київського національного університету будівництва і архітектури, ORCID: 0000-0002-7283-0594.

Кошовий Микола Дмитрович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри «Інтелектуальні вимірювальні системи та інженерія якості» Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», ORCID: 0000-0001-9465-4467.

Краснік Анатолій Васильович, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, науковий співробітник науково-дослідного центру Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Кривцун Володимир Іванович, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, начальник кафедри інженерної техніки, Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного. ORCID: 0000-0002-3907-5320.

Купріненко Олександр Миколайович, доктор технічних наук, старший науковий співробітник, професор кафедри інженерної механіки Національної академії сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, ORCID: 0000-0001-6692-0959.

Ленков Євген Сергійович, кандидат технічних наук, старший дослідник, старший науковий співробітник наукового центру Центрального науково-дослідного інституту Збройних Сил України, ORCID: 0000-0001-5819-2656.

Ленков Сергій Васильович, доктор технічних наук, професор, Заслужений діяч науки і техніки України, Лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, головний науковий співробітник науково-дослідного центру, Військовий інститут Київського національного університету імені Тараса Шевченка, ORCID: 0000-0001-7689-239X.

Литвиненко Наталія Ігорівна, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, начальник науково-дослідного відділу науково-дослідного центру Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка, ORCID: 0000-0002-2203-2746.

Литвиненко Олександр Ігорович, кандидат технічних наук, науковий співробітник науково-дослідного центру, Військовий інститут Київського національного університету імені Тараса Шевченка, ORCID: 0000-0003-0662-6875.

Лоза Віталій Миколайович, кандидат технічних наук, старший дослідник, начальник відділу науково-дослідного центру Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка, ORCID: 0000-0002-8050-3614.

Макарчук Микола Юхимович, доктор біологічних наук, професор, провідний науковий співробітник Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка, ORCID: 0000-0002-0982-3463.

Мартинюк Віктор Вікторович, старший викладач кафедри прикордонної служби Національної академії Державної прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького, ORCID: 0000-0001-9569-1112.

Мартинюк Олександр Васильович, старший викладач кафедри прикордонної служби Національної академії Державної прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького, ORCID: 0000-0002-0216-1356.

Мацішин Микола Олексійович, кандидат педагогічних наук, доцент кафедри національної безпеки та управління Національної академії Державної прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького, ORCID: 0000-0002-9012-2372.

Машталер Анатолій Миколайович, кандидат педагогічних наук, викладач кафедри вогневої та тактико-спеціальної підготовки Національної академії Державної прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького, ORCID: 0000-0003-0042-8739.

Міняйлук Вадим Володимирович, заступник начальника Центральної бази зберігання та постачання з матеріально-технічного забезпечення – начальник відділу, в/ч 1471, ORCID: 0000-0002-8091-8051.

Мясищев Олександр Анатолійович, доктор технічних наук, професор, професор Хмельницького політехнічного фахового коледжу Національного університету "Львівська політехніка". ORCID: 0000-0003-1269-425X.

Нікіфоров Микола Миколайович, кандидат військових наук, старший дослідник, провідний науковий співробітник Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка, ORCID: 0000-0002-2849-5688.

Овчарук Вадим Володимирович, доктор економічних наук, доцент, професор кафедри ММП, Національний університет «Львівська політехніка». ORCID: 0000-0002-7404-2508.

Олешко Дмитро Олександрович, кандидат психологічних наук, доцент кафедри прикордонної служби Національної академії Державної прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького, ORCID: 0000-0001-7515-1629.

Опенько Павло Вікторович, кандидат технічних наук, доцент, Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, ORCID: 0000-0001-7777-5101.

Охрамович Михайло Миколайович, кандидат технічних наук, старший дослідник, начальник відділу-заступник начальника управління Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка, ORCID: 0000-0002-8776-3937.

Пампуха Альона Ігорівна, аспірант, Державний університет телекомунікацій.

Пампуха Ігор Володимирович, кандидат технічних наук, доцент, Лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, начальник науково-дослідного центру Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка, ORCID: 0000-0002-4807-3984.

Поліщук Віктор Вікторович, кандидат військових наук, доцент кафедри прикордонної служби Національної академії Державної прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького, ORCID: 0000-0002-9654-9015.

Попков Борис Олексійович, кандидат військових наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник науково-дослідного центру Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка, ORCID: 0000-0001-9750-1220.

Ряба Людмила Олександрівна, науковий співробітник науково-дослідного центру, Військовий інститут Київського національного університету імені Тараса Шевченка, ORCID: 0000-0002-7436-4443.

Свинчук Ольга Василівна, кандидат фізико-математичних наук, доцент, Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", ORCID: 0000-0001-9032-6335.

Сєлюков Олександр Васильович, доктор технічних наук, професор, старший науковий співробітник, Лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, професор кафедри Київський національний університет будівництва та архітектури, ORCID: 0000-0001-7979-3434.

Собчук Валентин Володимирович, доктор технічних наук, доцент, професор кафедри інтегральних та диференціальних рівнянь Київського національного університету імені Тараса Шевченка, ORCID: 0000-0002-4002-8206.

Сокіл Богдан Іванович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інженерної механіки Національної академії сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, ORCID: 0000-0001-8551-7348.

Сокіл Марія Богданівна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри соціальних комунікацій та інформаційної діяльності Інституту гуманітарних та соціальних наук Національного університету «Львівська політехніка», ORCID: 0000-0003-3352-2131.

Солодєва Людмила Василівна, науковий співробітник науково-дослідного центру, Військовий інститут Київського національного університету імені Тараса Шевченка, ORCID: 0000-0002-7979-8443.

Толок Ігор Вікторович, кандидат педагогічних наук, доцент, Заслужений працівник освіти України, Лауреат Державної премії України в галузі освіти, начальник Військового

інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка, ORCID: 0000-0001-6309-9608.

Філімонова Наталя Борисівна, кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка, ORCID: 0000-0002-5133-3003.

Хлапонін Юрій Іванович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри кібербезпеки та комп'ютерної інженерії Київського національного університету будівництва і архітектури, ORCID: 0000-0002-9287-0817.

Черноусов Дмитро Олександрович, викладач кафедри прикордонної служби Національної академії Державної прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького, ORCID: 0000-0002-9012-2372.

Шевченко Дмитро Георгійович, кандидат військових наук, професор кафедри зв'язку та автоматизованих систем управління інституту забезпечення військ (сил) та інформаційних технологій Національного університету оборони України ім. Івана Черняхівського, ORCID: 0000-0002-5321-3144.

Алфавітний покажчик

Бабій Ю.О.	5, 119	Кривцун В.І.	15	Охрамович М.М.	51
Бандурка О.І.	41	Купріненко О.М.	31	Пампуха А.І.	94
Барабаш А.О.	41	Лєков С.В.	23, 108	Пампуха І.В.	23,128
Барабаш О.В.	78	Лєнков Є.С.	51	Поліщук В.В.	5
Баранов А.М.	15	Литвиненко Н.І.	108	Попков Б.О	128
Баранов Ю.М.	15	Литвиненко О.І.	108	Ряба Л.О.	51
Бурлєєв О.Л.	94	Лоза В.М	128	Свинчук О.В.	41
Власенко М.М.	88	Макарчук М.Ю.	128	Сєлюков О.В.	23
Гусак Ю.А.	23	Мартинюк В.П.	5	Собчук В.В.	78
Джулій В.Н.	51	Мартинюк О.В.	5	Сокіл Б.І.	31
Живило Є.О.	66	Мацішин М.О.	5, 119	Сокіл М.Б.	31
Жиров Г.Б.	15	Машталер А.М.	119	Солодєєва Л.В.	23
Замрій І.В.	78	Міняйлук В.В.	119	Толок І.В.	108
Зінчик А.Г	108	Мясіщєв О.О.	108	Хлапонін Ю.І.	88
Кальниш В.В.	128	Нікіфоров М.М.	128	Черноусов Д.О.	5
Касім Н.Х.,	88	Овчарук В.В.	108	Шевченко Д.Г.	66
Кошовий М.Д.	94	Олєшко Д.О.	119	Філімонова Н.Б.	128
Краснік А.В.	51	Опенько П.В.	41		

Наукове видання



ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

Військового інституту

**Київського національного університету
імені Тараса Шевченка**

№ 75

Усі матеріали надруковані в авторській редакції.

Підписано до друку 20.05.22 р.
Авт. друк. Арк. 11. Формат 60x90/8
Безкоштовно. Замовлення № 10-2012

Надруковано у навчальному картографічному комплексі ВІКНУ

03189, Київ, вул. Ломоносова 81

т. 521-32-89