

МЕТОДИКА ОБРОБКИ НАДЛИШКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ ЗВУКОМЕТРИЧНОГО КОМПЛЕКСУ HALO

Вирішення проблеми точності застосування різних артилерійських систем в умовах відсічі збройної агресії російської федерації є вкрай значущою, що залежить від потенційної якості засобів артилерійської розвідки, можливості яких обмежені відомими фізичними (акустичними) принципами. Сьогодні чимало технічних систем військового призначення надійшли в Україну без тестувань, а одразу для бойового застосування, зокрема, і звукометричний комплекс HALO, що ускладнює пошук напрямів модернізації (удосконалення) шляхом експериментальних досліджень. Водночас ретельний аналіз функціонування засобів артилерійської розвідки свідчить про високу частку інформаційної, часової і структурної надлишковості у багатьох військових системах, зокрема і HALO, що потребує додаткової обробки отриманих даних для покращення тактико-технічних характеристик зразка озброєння. Метою статті є розроблення методики додаткової обробки надлишкової інформації звукометричного комплексу для реалізації в системі підтримки прийняття рішень стосовно підвищення ефективності артилерійської розвідки за рахунок використання датасетів. Під час написання статті застосовано методи аналізу та структурно-параметричного синтезу функціональних систем у частині додаткової обробки надлишкової інформації реальної системи HALO. Зазначений методологічний підхід дає змогу піддати аналізу інформаційну та структурну надлишковості HALO і на цій основі розкрити потенціал для підвищення окремих тактико-технічних характеристик комплексу за рахунок додаткової обробки інформації в цілях підтримання ефективності системи вищого порядку, якою є система артилерійської розвідки. У статті наведено структурно-параметричну модель звукометричного комплексу та параметри датасетів, які є інформаційною надлишковістю розвідувальної інформації, що отримується з акустичних сигналів і після деякої обробки передається у систему артилерійської розвідки. Крім того, складено і пояснено суть основних процесів і явищ, сформульовано визначення термінів і понять, необхідних для додаткової обробки інформації, розроблено методику обробки надлишкової інформації звукометричного комплексу HALO на основі датасетів з урахуванням просторового розміщення складових комплексу на місцевості. Водночас рекомендовано впровадити методику в системі підтримки прийняття рішень, в якій проводиться обробка консолідованої інформації для підтримання ефективності системи артилерійської розвідки. Розроблена методика передбачає збір датасетів, виділення та перетворення частини параметрів із датасетів, статистичний аналіз просторового розподілу подій, уточнення за результатами обробки якості розвідувальної інформації, зокрема, точності визначення місцеположення джерела події. Елементом наукової новизни є перетворення вже відомих даних, зібраних у датасети, в результаті додаткової обробки в інші дані, що просторово розподілені на умовній системі координат. Таке перетворення дасть змогу провести статистичний аналіз внаслідок поширення даних на нові системи, зокрема, системи машинного навчання та у поєднання із іншою консолідованою інформацією. Теоретичну значущість статті формують терміни і поняття, які доповнюють термінологічну область сфери консолідованої обробки інформації, а також опис параметрів датасетів, що накопичуючись, без реалізованої обробки в системі, й формують якісні навчальні дані для систем машинного навчання і систем глибинного навчання. Практична значущість досліджень полягає у доцільності впровадження методики або безпосередньо в звукометричному комплексі, або в окремій системі підтримки прийняття рішень залежно від тактичної ситуації та часу чи інших можливостей, що дає змогу підтримувати ефективність системи артилерійської розвідки.

Ключові слова: датасет, звукометричний комплекс, обробка даних, інформаційна технологія, надлишковість, розвідувальна система, структурно-параметричний синтез, консолідація інформації.

Вступ

Постановка проблеми. Виявлення, засоби розвідки відповідних органів військового розпізнавання та визначення місцеположення управління (далі – ОБУ), є невід’ємним і основним цілей (об’єктів), що покладається на сили та етапом перед їх прийняттям до ураження та

ураженням артилерійських вогнем або іншими вогневими засобами, зокрема, безпілотними літальними апаратами.

Сили та засоби в цілому формуються із певної сукупності розвідувальних систем (далі – РС), до яких висуваються вимоги до точності та достовірності розвідувальної інформації (далі – РІ). Існування цієї проблеми зумовлено багатьма факторами, починаючи від Кляузевіцового терміну «сутінки» війни [1] і завершуючи потенційними показниками якості РІ від конкретної РС, наприклад [2]. Загалом, вимоги до точності й достовірності РІ завжди залишаються актуальними, оскільки способи ведення бойових дій змінюються: збільшують дальності застосування зброї, впроваджують способи коректування зброї в процесі її наближення до цілі, урізноманітнюють сили і засоби комбінованого удару (для нього залучають одночасно або послідовно різну за призначенням, вогневими можливостями, способом застосування зброю, інтенсифікуючи та варіюючи тим самим бойові дії), використовують несприятливі, як вважалось, умови (сезонні, погодні, топографічні) для ведення бойових дій (тобто такі, які одночасно знижують ефективність і засобів вогневого впливу, і РС, але в таких умовах використовують стратегію «меншого програшу»).

Проблема підвищення точності РС потребує вирішення для великої кількості нових ситуацій, зокрема, через збільшення дальності вогневого ураження противника (далі – ВУП) і через надмірне навантаження на «точніші» РС в умовах їх недостатності, в т. ч. через їх належність до пріоритетних цілей для противника.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Зазначену проблему вирішують у різний спосіб і залежно від конкретних зразків РС. Серед основних, в умовах узагальнення досвіду України у війні, можна назвати розвиток методології координації у комплексному вогневому ураженню противника (далі – ВУП [3] або покращення тактико-технічних характеристик різних зразків озброєння та військової техніки (далі – ОВТ) за рахунок нових інновацій [4; 5]. Подібні тенденції очевидні і в світовому контексті розвитку науки і технологій [6; 7].

Серед РС окремо вирізняються звукометричні комплекси (далі – ЗМК) – системи визначення місцеположення джерела звукової хвилі у бойових діях. Наявні зразки для звукової розвідки, незважаючи на реалізацію на технологіях і в області обчислень, й в конструктивній області, зберігають низькі точнісні показники [8], що дозволяє отриману РІ застосовувати тільки у загальній системі висвітлення цільової обстановки та як цілевказівку для залучення інших РС, що забезпечується через комплексування з іншими засобами артилерійської розвідки (далі – АР).

Окрім відомих причин фізичної природи цього [9], на нашу думку, однією з інших причин є відсутність післяобробки РІ поза межами цієї РС.

Є відомими вимоги до АР: безперервність, точність, достовірність, своєчасність. Сталість забезпечення цих вимог є основним завданням посадових осіб (далі – ПО) ОВУ, тож пошук додаткових шляхів і рішень, які б ці вимоги реалізовували, є очевидним. Результативне вирішення таких питань об'єктивно сприяє забезпеченню ефективності АР.

Ураховуючи зазначене, розвиток методології додаткової обробки даних у звукометричному комплексі для підвищення його точності та пов'язаного з цим забезпечення ефективності АР є актуальним науковим завданням.

Метою статті є розроблення методики обробки надлишкової інформації звукометричного комплексу для розширення способів забезпечення ефективності артилерійської розвідки за рахунок використання датасетів.

Слід зазначити, що аналогів подібних методик, які були б реалізовані у системах здобування та обробки інформації, не виявлено.

Виклад основного матеріалу дослідження

Для розробки методики скористаємося методами аналізу та структурно-параметричного синтезу, які передбачають аналіз природи явищ, визначення та обґрунтування понятійного апарату та функціонального опису системи для реалізації методики обробки інформації. Через надходження на озброєння Збройних Сил України (далі – ЗС України), починаючи з 2022 р., значної кількості зразків ОВТ іноземного виробництва постійно актуальним є питання опису принципів роботи таких зразків і впровадження в науковий або експлуатаційний обіг супутніх понять. Тож нижче надаються терміни і поняття, необхідні для дослідження, та проводиться функціональний опис роботи ЗМК, як такого зразка, на рівні обігу інформації (датасетів).

Звукометричним комплексом є штатні зразки ОВТ зі складу підрозділів АР, що передбачені організаційно-штатними структурами артилерійських, загальновійськових та інших спеціалізованих частин. Сьогодні в частинах Сил оборони України є два типи таких зразків ОВТ: автоматизований звукометричний комплекс (далі – АЗК) пасивної дії АЗК-7 «Мезотрон» [10], розроблений у 70-тих роках ХХ століття і ЗМК HALO (Hostile Artillery Locating System), виробництва концерну «Leonardo» [11], що перебуває на озброєнні ЗС України з 2022 року. Деякий час в Україні проводили дослідно-конструкторські роботи щодо створення ЗМК 1АР1 «Положення-2», але в серійному виробництві їх немає.

Фізичні принципи роботи зазначених ЗМК є спільними, відмінності полягають лише в методах, алгоритмах обробки сигналів і способах подання інформації, а також елементній базі, на якій реалізуються конструкторські рішення.

Результатом роботи ЗМК є видача координат точки джерела події у заданій системі координат.

Під *подією* слід розуміти зареєстроване, щонайменше одним із сенсорів HALO (звукоприймачів АЗК-7), надходження звукової хвилі, джерелом якої є постріл (запуск), виконаний артилерійською (мінометною, стрілецькою, реактивною, ракетною) системою, або розрив від падіння снаряда (ракети, міни, боеприпаса) і для якого визначені координати.

Сенсором (звукоприймачем) ЗМК є один із сукупності зазвичай однотипних пристроїв, призначений для уловлювання звукової хвилі та який перетворює у певний спосіб звукові коливання на сигнал, що передається і обробляється на ЗМК. Для спрощення, зазначені два структурні елементи називатимемо одним поняттям – *спостережний пост* (далі – СП). Структуру СП, що забезпечує автономну роботу впродовж очікуваного часу, наведено на рисунку 1.

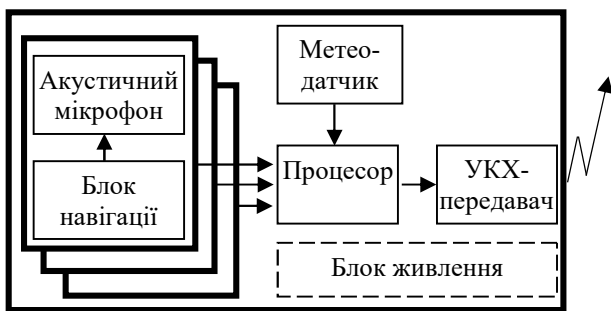


Рисунок 1 – Структура спостережного поста

Три акустичні приймачі (мікрофони) розміщуються у вершинах рівностороннього трикутника, а за допомогою «блоку навігації» забезпечується орієнтування СП за сторонами світу та визначення координат кожного із мікрофонів. Загалом це дає змогу, через різницю часу надходження акустичного сигналу на всі три мікрофони, розв'язати геометричну задачу визначення напрямку поширення звукової хвилі та координат джерела події, що виконується синхронізованим за часом процесором. На процесор також подається інформація про стан атмосфери (температура, тиск, швидкість і напрямок приземного вітру). Як результат, набори цифрових даних передаються каналом зв'язку для наступної обробки в ЗМК.

Під *джерелом події* слід розуміти визначений клас (тип, вид) з певною ймовірністю зразка ОБТ з проявленою вогневою активністю (пострілом, запуском), або розрив снаряда (ракети, міни, боеприпаса).

Акустичний сигнал – це звукова хвиля, що поширюється у просторі між джерелом звуку та спостережним постом. Під час досліджень розглядається перетворений акустичний сигнал на виході СП, що певним чином оброблений у реалізованих ЗМК після його реєстрації сенсором.

Історично акустичний сигнал із виходу звукоприймача (мікрофону) був наведений в аналоговому виді, на зміну якого прийшло подання в цифровій формі (умовно введемо позначення DS).

Обробка акустичних сигналів одного джерела події, реєстрація яких мала місце на кількох СП, полягала в отриманні засічки. Як наслідок, *засічкою події* є результат обробки акустичних сигналів (Z є множиною таких сигналів на вході ЗМК, у свою чергу Z є фізичним відображенням множини подій W) – час проявлення та координати точки джерела події у заданій системі координат з деякою точністю (\hat{W} – множина зареєстрованих (оброблених) ЗМК подій), а також проведення певної класифікації (розпізнавання джерела події з деякою ймовірністю) тощо. Засічка так само має певну комбінацію цифрових груп (час, координати, висота, ін.).

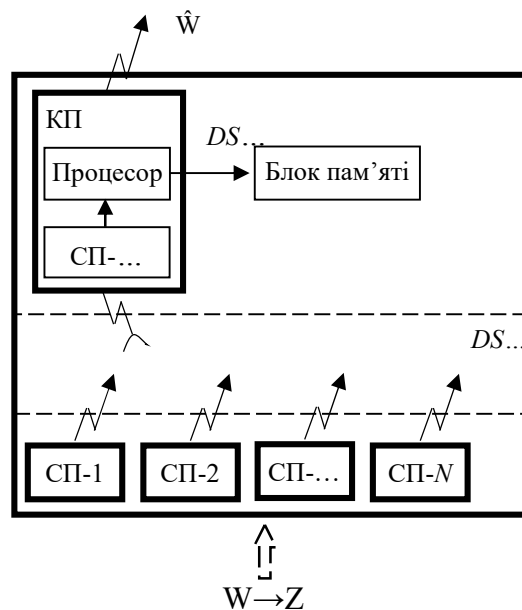


Рисунок 2 – Структурно-параметрична модель звукометричного комплексу

У ЗМК передбачено спільну обробку акустичних сигналів від багатьох сенсорів, що передбачає наявність деякого об'єднувачого елемента: в АЗК-7 цю функцію виконує центральний пост, а в HALO – командний (кластерний) пост (далі – КП). Під *командним постом* слід розуміти місце обробки сигналів від кількох СП (незалежно чи розглядається АЗК-7, чи HALO). Робота з сигналами (інформацією) проводиться (або може проводитися) у вигляді цифрових наборів, що характеризують акустичний сигнал (з виходу СП, з виходу ЗМК, з інших елементів ЗМК).

У теорії інформації цифрові набори (набори даних) прийнято називати датасетами. Тому *датасет* – це цифровий набір із СП для події, зареєстрованої на ньому, цифровий набір на виході ЗМК після обробки датасетів від кількох СП та інші набори даних, що утворюються внаслідок обробки сигналів (даних) відповідно до

реалізованих в апаратурі ЗМК методів, алгоритмів обробки сигналів і способах подання інформації. Датасети розрізняються залежно від місця їх отримання (рис. 2) (наприклад, датасет метеорологічних даних, датасет СП-1 (від першого СП)), N показує загальну кількість СП.

ЗМК розгортається на місцевості, відповідно до тактичних вимог, таким чином, щоб утворити певний бойовий порядок (розміщення складових ЗМК на позиції, їх інженерне обладнання, розгортання системи зв'язку для забезпечення функціонування ЗМК). У викладках, щоб опустити тактичні риси бойового порядку (вони є наслідком складного комплексу управління військами (підрозділом), в тому числі залежать від тактичної обстановки і бойового порядку інших підрозділів, особливостей виконання ними бойових завдань тощо), слід ввести поняття конфігурації ЗМК, як основи для наукових та інженерно-технічних пошуків власне у питаннях обробки сигналів (інформації). Отже, *конфігурація ЗМК* – це деяке упорядковано-випадкове розміщення СП вздовж лінії фронту для забезпечення смуги чутливості АЗК, тобто здатності сприймати звукові хвилі з просторової області, визначеної ПО ОВУ. Наявність датасетів від кількох СП дає змогу розв'язувати геометричну задачу стосовно конфігурації ЗМК для визначення місця положення точки джерела звукової хвилі на земній поверхні (з деякою точністю) із перерахуванням у координати в потрібній системі координат.

Опис наявних у HALO датасетів. На виходах структурних складових ЗМК формуються датасети, що мають певну прив'язку до джерела подій, акустичні сигнали від яких надходять на СП. З причин геопросторового розміщення джерела звуку відносно до конфігурації ЗМК, а також через інші причини (дальність, метеоумови, стан системи зв'язку (умови функціонування радіоканалу залежно від рельєфу місцевості та радіоелектронної обстановки), технічний стан обладнання (мікрофонів, процесорів тощо)) не від усіх СП буде отриманий датасет для однієї події. Як свідчить польова практика, датасет із кожного СП показує факт його спрацювання, прив'язаного до часу надходження акустичного сигналу на СП.

Зібрані датасети з певної кількості СП і командного поста дають змогу провести додатковий аналіз інформації, що назвати *третинною обробкою інформації*. Первинною обробкою є реєстрація акустичного сигналу на СП і його перетворення в цифровий вид, а вторинною

є, по суті, визначення кореляції між оцифрованими сигналами від різних СП з метою їх ототожнення до джерела події з одночасним визначенням координат цього джерела.

Тоді сукупність датасетів щодо звукових подій дасть змогу в третинній обробці інформації провести ретроспективний аналіз роботи ЗМК. Фактично, здійснюється «відтворення» роботи ЗМК за вихідними від цього комплексу даними – конкретними результатами обчислень щодо координат джерела події та сукупності датасетів, що містять інформацію про спрацювання спостережних постів (більше одного). Відтворити звукову хвилю (її форму коливань) для аналізу її параметрів неможливо в принципі, враховуючи те, що ця інформація, принаймні станом на сьогодні, не реєструється у цифровій пам'яті ЗМК.

Першим датасетом в ЗМК є постійний (впродовж певного часу) датасет конфігурації (табл. 1), що показує положення всіх СП на місцевості (він передається кожного разу разом із зафіксованим акустичним сигналом). Кожен СП, що попередньо встановив особовий склад підрозділу ЗМК на місцевості (тобто, визначив бойовий порядок підрозділу звукометричної розвідки), складається з трьох мікрофонів, і тому постійною інформацією в датасеті для кожної події (зрозуміло, якщо сенсори не переставляти на місцевості) є висота та координати у військовій системі координат (MGRS) на основі інструменту, який допомагає класифікувати трафік з різних платформ (UTM) кожного з мікрофонів Mic 1, Mic 2, Mic 3 (означення даних подаються латинськими літерами, як це реалізовано в HALO): SP1 – дані, отримані від першого СП, які, фактично, формують датасет з цього поста для однієї звукової події і наступних відповідно; (E) – прямокутна координата E (від *East*), за фізичним змістом є тотожною координаті Y у системі СК-42 (УСК); (N) – прямокутна координата N (від *North*), за фізичним змістом є тотожною координаті X у системі СК-42 (УСК); H (від *Height*) – абсолютна висота над рівнем моря.

У підсумку, датасет конфігурації містить такі дані від усіх спостережних постів SP1, SP2, ... (довідково: тут і нижче в цілях безпеки інформації зірочкою * закриваються дві цифри у групах, що показують дійсні координати позиції). Символи SP є запрограмованими для відображення у датасетах, у статті вони відповідають символам СП: SP1 – це СП-1 і т.д.

Таблиця 1

Параметри датасету конфігурації звукометричного комплексу

SP	Sensor Order								
	Mic 1			Mic 2			Mic 3		
	(E)	(N)	H	(E)	(N)	H	(E)	(N)	H
SP1	71*20.00	527*52.00	125	71*16.81	52*831.45	126	71*00.70	52*844.28	125
SP2	71*31.00	527*54.00	113	71*28.25	52*938.72	112	71*45.42	52*948.26	113
...									

Датасет події (по суті, ним є датасет із КП як об'єднаного елемента ЗМК) має вигляд, який показаний у табл. 2 (для прикладу, тут і далі показується тільки два рядки з таблиці, в цьому прикладі – два записи щодо факту надходження акустичного сигналу, рознесені за часом на 1 с):

у стовпчиках SP1, ..., SP6 цифрові групи показують, що СП спрацював і оцифрованому акустичному сигналові присвоєно унікальний ідентифікатор Det Id – 8-значна цифрова група.

Loc Id – унікальний ідентифікатор, який присвоєний події на підставі обробки акустичних сигналів, «захованих» за ідентифікатором Det Id;

Time – розрахований у ЗМК час події (може відрізнятися від фактичного з тих самих причин, з яких не всі СП спрацювають (див. вище));

nDet показує кількість СП, що спрацювали для події (тобто, які СП зафіксували акустичний сигнал від події).

Таблиця 2

Параметри датасету звукометричного комплексу спостережного поста¹

Loc Id	Time	Position (E)	Position (N)	nDet	SP 1	SP 2	SP 3	SP 4	SP 5	SP 6
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
23179072	02/*/* 03:00	394239.34	5311833.94	4	23213896		23213900	23213887	23213885	
23179073	02/*/* 02:59	397341.95	5313804.60	6	23213875	23213899	23213881	23213872	23213866	23213903

Результатом обробки цих акустичних сигналів є визначення координат джерела звуку: Position (E) і Position (N) та розрахований час Time проявлення події. Цифрові групи ідентифікаторів Loc Id, Det Id є спільними для усіх СП і КП, тож поява однакових є унеможливленою (ЗМК поєднується системою зв'язку на дуплексній основі (через радіоканал): від СП надходять датасети, а самі СП отримують необхідні ознаки функціонування від КП).

Опис інформаційної надлишковості HALO. Відомо, що кожна система має надлишковість [12], і ЗМК не є винятком. По-перше, в HALO є структурна надлишковість, адже дає змогу здійснити засічку джерела події (цілі) і одним СП, і будь-якою кількістю СП (питання в точності та достовірності PI).

По-друге, оскільки HALO діє в системі артилерійської розвідки, то його застосування, як і для інших засобів АР, супроводжується наявністю функціональної надлишковості.

По-третє, є інша, визначальна для нас, надлишковість – інформаційна. PI від HALO є:

$$Z = \sum_{i=1}^n f_i((E, N)_i, t_i, A_i), \quad (1)$$

де Z – кількість цілей, виданих ЗМК споживачу;

Z – множина цілей (див. рис. 2), у математичному вигляді є матрицею розміру $Z \times R$, де R – кількість параметрів, що характеризує кожну i -ту ціль;

$(E, N)_i$ – координати i -тої цілі (див. табл. 2);

t_i – розрахований час події для i -тої засічки (див. табл. 2, дані Time);

A_i – деяка множина цифрових або описових даних, які характеризують ціль, наприклад її спроба класифікувати, тобто віднести до певного класу артилерійської (мінометної, стрілецької, реактивної, ракетної) системи або розділити фізичні явища пострілу (запуску) та розриву від падіння снаряда (ракети, міни, боєприпаса).

Аналіз табл. 2 свідчить, що цифрові дані в стовпчиках 5–11 мають означальну функцію, що не передаються споживачеві відповідно до виразу (1).

Як наведено в [13], кількість засічок за допомогою HALO в процесі фіксованого проміжку часу, а для ОБУ одним із таких є доба, може складати понад 10^4 унікальних реєстрацій, що за короткий час (кілька місяців) дає змогу мати більше, ніж достатній обсяг датасету ЗМК (без урахування датасетів СП) на рівні $10^5 \dots 10^6$ [14].

Отже, використання цієї інформаційної надлишковості у вигляді датасетів (наборів цифрових даних, що циркулюють у ЗМК) поза своєю системою (поза ЗМК), тобто в іншій функціональній системі, дасть змогу здійснити після обробки PI іншими методами і алгоритмами та з урахуванням іншої інформації – забезпечить розроблення інформаційної технології (далі – IT) – системи, яка реалізує обробку інформації і яку можна ввести в структуру системи підтримки прийняття рішень (далі – СППР).

Додатково зазначимо, що функціонування ЗМК також уможливорює і часову надлишковість, дозволяючи тим самим повертатися до збереженої інформації (датасетів). Узагальнюючи варто зазначити, що зібрані датасети є якісними навчальними даними для машинного аналізу великих даних чи в системах машинного навчання, чи в системах глибинного навчання.

Методика обробки надлишкової інформації HALO

У загальному випадку ЗМК діє на підставі сукупності методів, алгоритмів і методик функціональних дій, що вирішують такі завдання: реєстрацію СП акустичних сигналів

$$Z = \sum_{j=1}^n z_j;$$

аналого-цифрове перетворення $z_j \rightarrow \bar{z}_j$ для ототожнення акустичного сигналу від однієї події,

що зареєстрований різними СП (шляхом кореляційного аналізу на КП);

передачу засічки з СП та приймання її на КП із присвоєнням кожній унікального ідентифікаційного номера та фіксацією часу надходження сигналу на конкретному СП;

обробку $\vec{z}_j \in Z$ з метою місцепозиціювання звукової події $w_j \in W$ як джерела акустичного сигналу $w_i \in W$, а саме: надання кожній події унікального ідентифікаційного номера; розрахунок часу звукової події; розрахунок координат звукової події (в такий спосіб показаний «перехід» від j -тої події до i -тої цілі, що є задачею обробки PI);

передачу засічки з КП кінцевому споживачеві.

Пропонується методика обробки надлишкової інформації звукометричного комплексу HALO, що призначена для підтримування таких вимог до AP як достовірність, точність і безперервність PI.

Передумовою створення методики є наявність структурної та інформаційної надлишковості у ЗМК, а саме структурною надлишковістю є багатопозиційність ЗМК (тобто певна кількість спостережних постів), а інформаційною – датасети з кожного СП.

Методика передбачає обробку сукупності унікальних ідентифікаційних номерів від кожного СП окремо і від ЗМК в цілому (як результату засічки цілі (події) і призначена для впровадження в ЗМК з метою додаткової обробки інформації, що очікувано дасть змогу підтримувати забезпечення таких вимог до артилерійської розвідки як достовірність, точність і безперервність PI.

Фізичною підставою для обробки є те, що в кожному унікальному ідентифікаційному номері закладена інформація про окремі параметри акустичного сигналу, а точніше про фактори, що дають деяку характеристику події – це час проявлення події, ідентифікація кількості спостережних постів, на яких здійснено реєстрацію акустичного сигналу від події, розраховані координати події. Отже, об'єктом дослідження методики є способи додаткової обробки інформації в цілях підвищення ефективності ЗМК – зменшення помилки місцепозиціювання події.

Наявними підходами до обробки інформації в ЗМК не передбачено потреби додаткової обробки, що робить запропоновану методику унікальною і не уможлиблює опис відмінностей від аналогів.

Для реалізації методики слід ввести обмеження та припущення, а саме вважатиметься, що датасети, які зберігаються на КП (в комп'ютерній пам'яті) узагальнюються і передаються до спеціальної системи для додаткової обробки (технічна реалізація цієї вимоги зараз не обговорюється). Тому, цифрові дані (датасети) підлягають обробці в окремій системі поза ЗМК. Використовуючи прийнятий понятійний апарат для роботи з датасетами така система є ІТ. Отже,

ввідними даними для ІТ будуть набори датасетів з усіх СП, з КП.

Сутністю методики є реалізація таких кроків:

1. Побудова площинної матриці як еквіваленту проєкції ділянки земної поверхні на площину без урахування висот точок.

2. Відображення конфігурації ЗМК на площинній матриці.

3. Відображення засічок на площинній матриці для обраної конфігурації.

4. Проведення статистичного аналізу розподілу засічок на площинній матриці.

5. Пошук закономірностей і обґрунтування коефіцієнтів для зменшення помилок місцепозиціювання звукових подій.

Для реалізації методики є правочинним відомий математичний апарат, зокрема, алгебра матриць для узагальнення, упорядкування датасетів, математичний аналіз для представлення розподілу випадкової величини на площині та власне аналізу закономірностей розподілу, а також мови програмування для написання необхідного програмного коду. Алгоритм реалізації методики наведено на рис. 3.

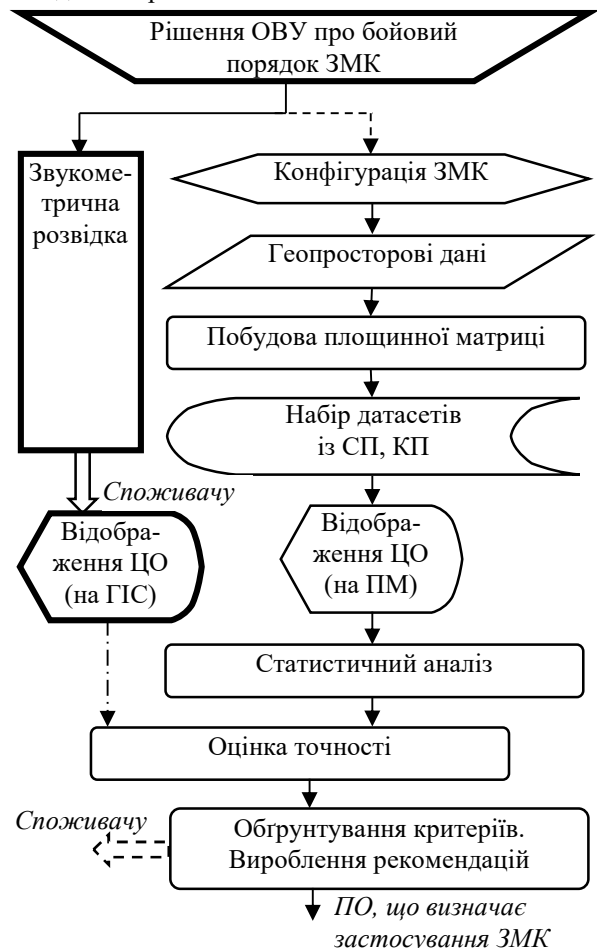


Рисунок 3 – Алгоритм методики додаткової обробки інформації від HALO

Як видно з рис. 3, основний алгоритм роботи HALO реалізується в ланках-кроках «Рішення

ОВУ – Звукометрична розвідка – Відображення ЦО» (тут ЦО – цільова обстановка).

Додаткова обробка надлишкової інформації (датасетів) «організується» візуально «правою» віткою алгоритму на рис. 3.

Функціонально це додаткова обробка організується поза ЗМК HALO – окремою ІТ, своєрідною складовою СППР. Тому, отримана самостійна методика обробки надлишкової інформації HALO, яка має такі етапи:

1. На основі часткових геопросторових даних (див. табл. 1), які описують заданий бойовий порядок ЗМК, створюється площинна матриця (без урахування висот точок місцевості) із масштабом областей можливих значень, які відповідають максимально досяжним просторовим характеристикам області АР (дальності).

2. З комп'ютерної пам'яті ЗМК отримується (спосіб передачі є окремою ІТ і не є предметом розгляду цієї статті) набір датасетів (з інформацією, що генерується в ЗМК – див. табл. 1, табл. 2);

3. З датасетів вилучається геопросторові дані щодо кожної цілі (засічки) та як мітка наноситься на площинну матрицю для відображення цільової обстановки в «системі координат» цієї ІТ.

4. Щодо отриманого розподілу засічок проводиться статистичний аналіз (це питання є предметом окремої наукової статті і тут не розглядається).

5. На основі отриманих розподілів проводиться оцінка ефективності конфігурації.

6. У разі використання ІТ в деякій СППР, на яку може надходити відображення ЦО (із необхідними цифровими даними) додатково такий аналіз (оцінка ефективності) може проводитися у кореляції з основним алгоритмом роботи HALO.

7. Відповідні висновки (критерії та показники для внесення в математичні розрахунки при визначенні місцеположення джерела події, а також рекомендації для ПО ОВУ) є результатом попередніх дій, проводяться та узагальнюються в СППР і доводяться відповідному споживачеві, в т. ч. і командирів ЗМК.

Особливістю додаткової обробки є те, що в її результаті відбувається перетворення вже відомих розвідувальних даних, яких достатньо для рішень ПО ОВУ про подію (ціль) та що збережені у датасети, в інші дані, що просторово розподілені за допомогою машинного аналізу на умовній системі координат, яка є основою статистичного аналізу та наступних етапів обробки консолідованої інформації.

Потенційною областю застосування методики є СППР командира (начальника, іншої ПО ОВУ), в нашому випадку ПО, що визначає бойове застосування ЗМК. Відповідно провівши статистичний аналіз ПО може ухвалити обґрунтоване рішення про зміни бойового порядку підрозділу ЗМК (конфігурації) в цілях забезпечення кращих показників якості розвідувальної інформації. Така аналітична

діяльність щодо підвищення ефективності бойового застосування ОВТ однозначно вимагається посадовими обов'язками, а використання ІТ дозволяє оптимізувати часовий ресурс на таку аналітичну діяльність для підготовки рішень, оскільки це можна робити не в режимі реального масштабу часу, а планово. Конкретним прикладом застосування методики є робоче місце оператора ЗМК (обладнане ноутбуком і каналами зв'язку), на якому проводиться додаткова обробка датасетів.

Практичне застосування методики не потребує розроблення додаткових систем (блоків) озброєння, а реалізується на наявній інфраструктурі (каналів передачі інформації, комп'ютерній пам'яті, обчислювальної техніки та програмного коду засобами машинного навчання).

Виграш від використання методики передбачається оцінити за результатами її безпосереднього використання в ЗМК (на цей час це не було зроблено через завантаженість підрозділів ЗМК у бойовій роботі відповідно до цільового призначення).

Висновки й перспективи подальших досліджень

В інтенсивному збройному протистоянні, коли добові показники застосування ворогом артилерії є на рівні кількохсот вогневих завдань, що робить навантаження на розвідувальні системи надвисоким, пошук шляхів забезпечення ефективності наявних зразків озброєння та військової техніки є актуальною задачею.

Застосування звукометричних комплексів у системі артилерійської розвідки має свої відомі особливості, переваги та обмеження, але також має і потенціал до додаткового забезпечення її ефективності, який можна реалізувати через врахування надлишковості означених комплексів.

Датасети, що генеруються в звукометричних комплексах, є інформаційною надлишковістю, і додаткова обробка датасетів дає змогу підтримати ефективність артилерійської розвідки у разі, якщо комплексування різних розвідувальних систем є неможливим з тих або інших причин.

Визначені та описані в статті терміни та поняття, що стосуються окремих особливостей функціонування звукометричних комплексів, складають онтологічну основу для подальших досліджень щодо розробки методології консолідованої обробки інформації, за якої передбачається поєднання різних додаткових систем, як розглянути у цій статті звукометричні комплекси і системи машинного аналізу для обробки датасетів, а в перспективі – й інших систем (геоінформаційних, метеорологічних тощо).

Для додаткової обробки датасетів запропонована методика обробки надлишкової інформації HALO, яка є основою для розроблення інформаційної технології щодо обробки консолідованої інформації у системі підтримки

прийняття рішень.

Перспективою подальших досліджень є аналіз статистичного розподілу подій, відтворених за допомогою методики обробки надлишкової інформації звукометричного комплексу HALO на основі здобутих датасетів від безпосереднього використання в звукометричному комплексі, що дасть змогу оцінити ефективність від

впровадження методики на робочому місці посадових осіб органів військового управління та обґрунтувати спосіб її організаційно-технічної реалізації у системі підтримки прийняття рішень.

Примітки

¹ Нумерацію стовпців табл. 2 зроблено автором.

Список бібліографічних посилань

1. Виздрик В. С., Мельник О. М. Військово-теоретичні аспекти трактування війни на основі теорії Карла фон Клаузевіца. *Військово-науковий вісник*. 2011. № 35. С. 114–124. DOI: 10.33577/2313-5603.35.2021.114-124.
2. Ковбасюк С. В., Випорханюк Д. М. Геопросторовий аналіз як метод космічної ситуаційної обізнаності. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*. 2019. № 1 (34). С. 75–82. DOI: 10.33099/2311-7249/2019-34-1-75-82.
3. Слісар П. О. Удосконалена методика визначення ймовірної досягнення потрібного ефекту координації ймовірного ураження противника в операції. *Збірник наукових праць Центру воєнно-стратегічних досліджень Національного університету оборони України*. 2022. № 2 (75). С. 40–46. DOI: 10.33099/2304-2745/2022-2-75/40-46.
4. Рязанцев С. С., Литовченко Д. М., Мішуков О. М. Оцінювання ефективності бойового застосування розвідувально-ударної системи з врахуванням технічних характеристик систем розвідки та управління. *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил*. 2021. № 4(70). С. 41–44. DOI: 10.30748/zhups.2021.70.06.
5. Morozov A., Yashchenko V. Decision-making technologies in military systems. Challenges and prospects. *Математичні машини і системи*. 2023. № 4. С. 3–10.
6. The Army Futures Command Concept for Intelligence 2028. AFC Pam 71-20-3. U. S. Army Futures Command, Futures and Concepts Center. 18th Sept. 2020. URL: <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/AD1128558.pdf> (дата звернення: 05.03.2024).
7. Soare S. R., Singh P., Nouwens M. Software-defined Defence: Algorithms at War. The International Institute for Strategic Studies, 2023. 55 p. URL: <https://www.iiss.org/globalassets/media-library--->

content--migration/files/research-papers/iiss_software-defined-defence_17022023.pdf (дата звернення: 05.03.2024).
8. Kaushik B., Nance D., Ahuja K. A review of the role of acoustic sensors in the modern battlefield. *11th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference*. 2005. DOI: 10.2514/6.2005-2997.
9. Bateman H. Mathematical theory of sound ranging. *Monthly weather review*. Jan. 1918. P. 4-11.
10. Кочан Р., Трембач Б., Кочан О. Методична похибка пеленгування цілі системою звукової артилерійської розвідки. *Вимірювальна техніка та метрологія*. 2019. Т. 80. Вип. 3. С. 10–14. DOI: 10.23939/istcmtm2019.03.
11. HALO Hostile Artillery Locating System. Leonardo Ltd., 2022. URL: <https://electronics.leonardo.com/en/products/halo> (дата звернення: 05.03.2024).
12. Креденцер Б. П. Исследование проблемы комплексного использования избыточности в сложных системах вооружения ПВО с целью обеспечения их надежности: Дис. ... докт. техн. наук: 20.02.21. КВИРТУ ПВО. Київ, 1978. 338 л.
13. Конвісар М., Тимчук В. Організаційні заходи щодо контрбатареїної боротьби в умовах розосереджених бойових порядків противника. *Застосування Сухопутних військ Збройних Сил України у конфліктах сучасності (за досвідом забезпечення національної безпеки складовими сектору безпеки і оборони у російсько-українській війні в 2022 році)* : зб. тез доп. наук.-практ. конф., м. Львів, 17 лист. 2022 р. Львів : НАСВ, 2022. С. 113.
14. Тимчук В., Литвин В., Перегуда О. Декомпозиція машини глибинного навчання на основі наборів спеціалізованих датасетів для зменшення часу обробки просторової інформації. *Військово-технічний збірник*. 2023. № 28. С. 60–68. DOI: 10.33577/2312-4458.28.2023.60-68.

METHODOLOGY FOR PROCESSING OF DATA REDUCTANCE IN HOSTILE ARTILLERY LOCATOR SYSTEM

Tymchuk Volodymyr (Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher)

Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy, Lviv, Ukraine

Formulation of the problem in general. In the conditions of the large-scale invasion of the russian federation into Ukraine at the level of repelling the armed aggression of the enemy, there was an urgent need to develop the arms to protect the warriors of the defense forces of the state. The problem of the accuracy of different weapon systems is a permanent. The purpose of the article is to set the methodology of additional data processing in locating system using datasets. It allows to keep well the stability of artillery reconnaissance efficiency.

Analysis of recent researches and publications. The known recent researches and publications have a target to improve some specific features of the weapon or any combat system, but in case of sound artillery intelligence system or other acoustic sensors the potential quality of output recco data is limited by well-known physical principles of theory and practice of sound ranging. In these studies, the authors did not consider how to improve the specifications of Hostile Artillery Locating System, because the system is not tested in Ukraine just is operated in warfare. So, it means it is necessary to search alternative ways to improve the efficiency of HALO or similar sound ranging systems. But there are some kinds of redundancy while the sound ranging system operates, both functional, time and information types of reductance. The sound ranging system produces a great volume of datasets.

Presenting the main material. The method of analysis of system and the structure and parameter design method are used in the article. The experience of Hostile Artillery Locating System functioning in warfare is compiled and explained in the article. The structure and parameter model for HALO that shows how the information flows from sensor post(s) to command post and then for the user of intelligence data is depicted. The main accent is made on the configuration of Hostile

Artillery Locating System and datasets, that are the base for the additional processing. The dataset's parameters from a sensor post (as a source of information redundancy in a system) are shown. It is possible to get more than hundreds dataset per a day, it's enough for data processing using for example machine learning.

Elements of scientific novelty. The methodology allows the additional data processing either in Hostile Artillery Locating System, or in other separate decision-making system depending on tactical situation and time or other possibilities. The methodology includes the collection of datasets, the extraction and transformation of the part of already known data for surface distribution in specific coordinate base and next statistical analysing of the distribution. The methodology includes five consecutive blocks, which allows you to create a surface coordinate base similar to real projection of the terrain on a digital map in two dimensions (without height dimension) and to depict the configuration of the Hostile Artillery Locating System on this surface coordinate base as the locations of sound events which are extracted from the datasets, to get the surface distribution of the sound events for next statistical analyzing.

Theoretical and practical significance of the article. The new terms in the sphere of consolidation data processing are presented. The methodology for additional data processing ensures the transformation the known data gathering in datasets into space-distributed data on artificial grid coordinate system for next statistical analysis. The methodology allows to improve the accuracy of the Hostile Artillery Locating System that allows to optimize some missions of the artillery reconnaissance system that includes several different types of weapon systems and in general the such system needs a lot part of information consolidation. So, the methodology being realized in decision-making system or in machine or deep learning system will support the information consolidation in other weapon system and will ensure the higher accuracy of coordinate information of enemy artillery and other aspects holding the the stability of artillery reconnaissance efficiency.

Conclusion and the perspectives of future researches. The developed Methodology requires further development and testing in Hostile Artillery Locating System to get the results of additional processing and to compare with functional algorithm of the system to confirms the adequacy of the obtained results.

Keywords: dataset, Hostile Artillery Locating System, data processing, information technology, reductance in system, intelligence and reconnaissance system, structure and parameter synthesis, decision-making and consolidation system.

References

1. Vyzdryk, V., Melnyk, O., (2011). Military-theoretical aspects of the interpretation of war on the basis of Clausewitz's theory. *Military Scientific Journal*. 35, 114-124. DOI: 10.33577/2313-5603.35.2021.114-124.
2. Kovbasiuk, S., Vyporkhaniuk, D., (2019). Geological analysis as a method space situation awareness. *Modern Information Technologies in the Sphere of Security and Defence*. 1(34), 75-82. DOI:10.33099/2311-7249/2019-34-1-75-82.
3. Slisar, P., (2022). Improved methodology for determining the probability of achieving the desired effect of enemy fire coordinating in an operation. *Collection of Scientific Works of the Center for Military and Strategic Research of the National Defense University of Ukraine*. 2(75), 40-46. DOI: 10.33099/2304-2745/2022-2-75/40-46.
4. Riazantsev, S., Litovchenko, D., Mishukov, O., (2021). Evaluation of efficiency of fire development means of research and impact system taking into account technical and technical data sheets. *Scientific Works of Kharkiv National Air Force University*. 4(70), 41-44. DOI: 10.30748/zhups.2021.70.06.
5. Morozov A. O., Yashchenko, V. O., (2023). Decision-making technologies in military systems. Challenges and prospects *Mathematical machines and systems*. 4, 3-10.
6. The Army Futures Command Concept for Intelligence 2028, (2020). U. S. Army Futures Command, *Futures and Concepts Center* [online]. Available at: <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/AD1128558.pdf> [Accessed : 05 March 2024].
7. Soare, S. R., Singh P., Nouwens, M., (2023). *Software-defined Defence: Algorithms at War*. The International Institute for Strategic Studies. 55 [online]. Available at: https://www.iiss.org/globalassets/media-library---content--migration/files/research-papers/iiss_software-defined-defence_17022023.pdf [Accessed : 05 March 2024].
8. Kaushik, B., Nance, D., & Ahuja, K. (2005). A Review of the Role of Acoustic Sensors in the Modern Battlefield. In *11th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference*. DOI: 10.2514/6.2005-2997.
9. Bateman, H., (1918). Mathematical theory of sound ranging. *Monthly weather review*. Jan., 4-11.
10. Kochan, R., Trembach, B., Kochan, O., (2019). Methodical error of targets bearing by sound artillery intelligence system. *Measuring Equipment and Metrology*. 80(3), 10-14. DOI: 10.23939/istcmtm2019.03.
11. HALO Hostile Artillery Locating System, (2022). Leonardo UK Ltd., MM07667 07-22, [online]. Available at: <https://electronics.leonardo.com/en/products/halo> [Accessed : 05 March 2024].
12. Kredentser, B. P., (1978). Investigation of the problem of integrated use of redundancy in complex air defence weapon systems in order to ensure their reliability. *Dys. ... Doctor of sciences* 20.02.21. KVIRTU, Kyiv, 338.
13. Konvisar, M., Tymchuk, V., (2022). Organizational measures for counter-battery warfare in the conditions of dispersed enemy combat formations. In *Zastosuvannya Sukhoputnykh viys'k Zbroynykh Syl Ukrayiny u konfliktakh suchasnosti (za dosvidom zabezpechennya natsional'noyi bezpeky skladovymy sektoru bezpeky i oborony u rosiys'ko-ukrayins'kiy viyni v 2022 rotsi) : zb. tez dop. nauk.-prakt. konf., Lviv, Ukraina, 17 lystopada 2022*. Lviv, National Army Academy.
14. Tymchuk, V., Lytvyn, V., & Pehuda, O. (2023). The decomposition of the deep learning machine for specialized datasets for time minimizing of spatial information processing. *Military technical collection*, (28), 60-68. DOI: 10.33577/2312-4458.28.2023.60-68.