

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет «Львівська політехніка»

На правах рукопису

**Оборська Оксана Володимирівна**



УДК 519.7:004.89

**МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ МОДЕЛЮВАННЯ  
ПЕТЛІ БОЙДА У ВІЙСЬКОВИХ  
ЗАСТОСУВАННЯХ З ВИКОРИСТАННЯМ  
ОНТОЛОГІЧНОГО ПІДХОДУ**

01.05.03 – математичне та програмне забезпечення  
обчислювальних машин і систем

**Автореферат**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Львів – 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Національному університеті «Львівська політехніка», Міністерства освіти і науки України, м. Львів.

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, професор  
**Литвин Василь Володимирович**,  
Національний університет «Львівська політехніка»,  
завідувач кафедри інформаційних систем та мереж

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, доцент  
**Овсяк Олександр Володимирович**,  
Відокремлений підрозділ «Львівська філія Київського  
національного університету культури і мистецтв»,  
доцент кафедри кіно-, телемистецтв;

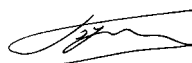
кандидат технічних наук, старший науковий співробітник  
**Перегуда Олександр Михайлович**,  
Науковий центр Житомирського військового інституту  
імені С. П. Корольова, начальник науково-дослідної  
лабораторії проблем інтеграції роботизованих систем до  
єдиної системи управління науково-дослідного відділу  
роботизованих систем.

Захист відбудеться 27 травня 2016 року о 16<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.05 у Національному університеті «Львівська політехніка» (79013, м. Львів, вул. Професорська, 2, XI навч. корп., ауд. 218).

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного університету «Львівська політехніка» (79013, м. Львів, вул. Професорська, 1).

Автореферат розісланий «20» квітня 2016 року.

Учений секретар спеціалізованої  
вченої ради, д.т.н., професор



Р. А. Бунь

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Ефективність застосування військ (сил) сучасних збройних сил значною мірою залежить від рівня розвитку системи управління, який, своєю чергою, визначається ступенем їх автоматизації. Автоматизація управління може суттєво підвищити бойові можливості військ (сил) і одночасно в декілька разів скоротити час, які витрачають органи управління на планування дій і доведення завдань до підлеглих. Автоматизована система управління (АСУ) тактичної ланки Сухопутних військ збройних сил України (СВ ЗСУ) – це сукупність взаємозалежних органів та пунктів управління, обладнаних комплексом комп'ютерних апаратно-програмних засобів підтримки прийняття рішень та засобів зв'язку, що забезпечують ефективне управління з'єднаннями, частинами і підрозділами як під час військових зіткнень, так й під час навчання та підготовки військових кадрів. Підсистема підтримки прийняття рішень (СпППР) є центральною компонентою такої АСУ. Вона дає змогу моделювати перебіг бойових дій, виробляти близькі до оптимальних за певними критеріями варіанти рішень та надавати їх для рекомендацій командирам тактичних ланок. Слід зазначити, що середовище в якому функціонує така СпППР, є конкурентним, тобто взаємодіє кілька суб'єктів управління, які є суперниками. Сучасний підхід до моделювання процесу підтримки прийняття рішень у конкурентному середовищі полягає у використанні петлі Бойда, що передбачає багаторазове повторення циклу, який складається з чотирьох послідовних взаємодіючих процесів (етапів): спостереження (observation); орієнтація (orientation); прийняття рішення (decision); дія (action). Таку петлю Бойда в літературі також називають петлею OODA (перші букви назв чотирьох процесів). Згідно із гіпотезою Бойда – вища швидкість свого циклу і точність оцінок етапів петлі забезпечує перевагу над противником і веде до перемоги у військових діях.

В Україні та колишньому Радянському Союзі значний внесок у розробленні методів та засобів підтримки прийняття рішень у конкурентному середовищі, зокрема у військовій сфері, зробили такі вчені, як А. Я. Вайнер, Є. С. Вентцель, П. Н. Ткаченко, Л. Н. Куцев, Г. А. Мещеряков, А. М. Чавкін, А. Д. Чебикін, І. Я. Дінеру, В. П. Кравченко, Л. А. Овчаров, за кордоном можна відзначити таких вчених, як Д. Бойд, Е. Хові, Г. Х. Гуд, Р. Є. Макол.

Під час математичного моделювання бойових дій можна виокремити низку важливих показників, які безпосередньо впливають на їхній результат. До таких показників належать: відстань між військами; характеристики можливостей військ; прохідність місцевості (коефіцієнт супротиву руху); видимість цілі (ймовірність виявлення цілі); ймовірність знищення цілі; сектор пошуку цілі; щільність розподілу вогневих засобів по цілям противника; кількість необхідних пострілів для знищення цілі (характеристика розсіювання, захищеність цілі, відстань) тощо. Значення цих показників напряму залежить від бойового статусу, тактико-технічних характеристик (ТТХ) різних видів озброєння та військової техніки (ОВТ), організаційно-штатної структури з'єднань, частин і підрозділів тощо. Окрім того, ЗСУ зараз перебувають на перехідному етапі, а саме вводяться нові стандарти. Тому необхідно враховувати відповідність між новими та старими стандартами. Все це приводить до того, що необхідні потужні програмні засоби для зберігання

відповідної інформації у базі знань (БЗ). Оскільки ТТХ ОВТ, організаційно-штатна структура військ, інші показники ґрунтуються на певних нормативних документах, то ядром такої БЗ є онтологія СВ ЗСУ.

Саме тому, розроблення методів та засобів побудови СпППР на основі петлі Бойда з використанням онтологічного підходу є актуальним завданням, а результати таких наукових досліджень надають нові можливості щодо аналізу та синтезу пропонуваніх рішень у конкурентному середовищі.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційну роботу виконано в межах наукового напрямку «Нові комп'ютерні засоби та технології інформатизації суспільства» визначеного пріоритетним у переліку актуальних проблем Міністерством освіти і науки України, концепції програми інформатизації НАН України, визначеної пріоритетним напрямом, згідно розпорядженням № 146 від 27.02.2004 р. та за тематикою наукових досліджень кафедри інформаційних систем і мереж Національного університету «Львівська політехніка», зокрема за темою, «Розроблення інтелектуальних розподілених систем на основі онтологічного підходу з метою інтеграції інформаційних ресурсів», номер державного реєстру 0115U004228 (автор розробив метод підтримки прийняття рішень на основі онтологій у конкурентному середовищі (військовій сфері), що дало змогу враховувати специфіку предметної області під час прийняття рішень командирами тактичних ланок).

**Мета і задачі дослідження.** Метою дисертаційної роботи є розвиток методів підтримки прийняття рішень у конкурентному середовищі на основі петлі Бойда шляхом використання онтологій.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

- провести аналіз відомих математичних моделей та методів підтримки прийняття рішень у конкурентному середовищі для формування можливих напрямів їх розвитку;
- розробити модель петлі OODA з використанням онтологічного підходу у вигляді скінченного автомату, який би враховував взаємодію етапів цієї петлі з онтологією;
- розробити методи та алгоритми підтримки прийняття рішень на кожному із етапів петлі OODA з використанням онтології, які б стали основою для програмної реалізації відповідних етапів;
- побудувати архітектуру підсистеми підтримки прийняття рішень, яка враховує запропонований онтологічний підхід, а функціональне наповнення компонент підсистеми відповідає етапам петлі Бойда;
- провести апробацію розроблених методів шляхом реалізації підсистеми підтримки прийняття рішень та проведення експериментальних досліджень.

*Об'єктом дослідження* є процеси підтримки прийняття рішень у конкурентному середовищі.

*Предметом дослідження* є методи та засоби побудови підсистеми підтримки прийняття рішень на основі петлі Бойда з використанням онтологічного підходу.

**Методи дослідження.** Для досягнення поставленої мети використано: теорію множин та методи подання знань для моделювання структури онтології та розроблення процедур опрацювання онтологічних знань; теорії дослідження операцій, ймовірностей та штучного інтелекту для розроблення та функціонального наповнення окремих модулів СпППР; методи системного аналізу, методи об'єктно-орієнтованого аналізу і проектування – для розроблення архітектури СпППР; теорію реляційних баз даних, методи штучного інтелекту, об'єктно-орієнтоване програмування – для програмної реалізації розроблених моделей, методів та алгоритмів функціонування окремих модулів СпППР.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає у розв'язанні наукового завдання розроблення методів та засобів для побудови систем підтримки прийняття рішень у конкурентному середовищі на основі петлі Бойда з використанням онтологічного підходу. При цьому отримано такі нові наукові результати:

- вперше розроблено модель петлі OODA з використанням онтологічного підходу, яку подано у вигляді автомата Мура, що дає можливість використовувати онтологічні знання під час етапів петлі OODA, що у свою чергу, дало змогу розробити архітектуру та математичне забезпечення функціонування СпППР у конкурентному середовищі;
- отримав подальший розвиток метод використання онтологій у конкурентних середовищах, а саме у військових застосуваннях, за рахунок визначення експертами ваг окремих елементів онтології та подання експертних знань за допомогою дескриптивної логіки, що дало змогу підвищити ефективність етапів «Орієнтація» та «Рішення» петлі Бойда під час імітаційного моделювання бойових дій та цілерозподілу, а саме в окремих випадках ймовірність неураження власних військ, отримана модулем імітаційного моделювання з використанням онтології, до 20 % вища у порівнянні з випадком невикористання онтологічних знань;
- удосконалено метод цілерозподілу на основі методів штучного інтелекту, а саме генетичних алгоритмів та опрацювання онтологічних знань, який на відміну від існуючих, не містить процедур повного перебору, що дало змогу зменшити обчислювальну складність алгоритму пошуку ефективного цілерозподілу;
- удосконалено архітектуру СпППР у військових застосуваннях, до складу якої, відповідно до етапів петлі OODA, входять модулі збирання та опрацювання розвідувальних даних, імітаційного моделювання бойових дій, пошуку ефективного цілерозподілу та корегування стрільби, яка містить усі необхідні процеси реалізації петлі Бойда та ґрунтується на онтологічних знаннях, що дало змогу реалізувати СпППР у складі АСУ тактичної ланки СВ ЗСУ.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає у тому, що на основі запропонованих та удосконалених методів підтримки прийняття рішень у конкурентному середовищі на основі петлі Бойда шляхом використання онтологій створено програмний комплекс, який застосовується для підтримки прийняття рішень командирів тактичних ланок. Завдяки розробленому програмному забезпеченню підвищується ефективність підготовки військових кадрів, зокрема

позаштатних, котрі не мають фахових знань. Завдяки автоматизації основних процедур, які реалізовані у програмному комплексі, до 30 % скорочується час на прийняття рішення командиром тактичної ланки.

Результати дисертаційних досліджень використовуються у державному підприємстві «Львівський науково-дослідний радіотехнічний інститут» (м. Львів) під час виконання науково-дослідних робіт із створення моделі прийняття рішень в перспективній автоматизованій системі управління тактичної ланки; у військовій частині А2129 Міністерства оборони України (м. Дніпропетровськ) для корегування стрільби артилерії та передачі розвідувальних даних, а також для отримання стійких навичок в процесі підготовки корегувальників артилерії. Використання результатів дисертаційної роботи підтверджено актами про впровадження.

Результати дисертаційної роботи використовують у навчальному процесі в Національному університеті «Львівська політехніка» у лекційних курсах дисциплін «Теорія прийняття рішень», «Технології підтримки процесів прийняття рішень» під час підготовки студентів за спеціальністю «Системи і методи прийняття рішень», що підтверджено відповідними актами.

**Особистий внесок здобувача.** Усі наукові результати, подані у дисертації, одержані здобувачем особисто. У працях, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належить: [2] – розроблено метод побудови бази знань для розв’язування задач моделювання військових дій механізованих військ; [3, 6, 7, 12, 17, 18] – розроблено метод використання онтологій у петлі OODA для моделювання поведінки інтелектуального агента, який функціонує у конкурентному середовищі; [8, 15, 19] – розроблено метод моделювання етапу «Орієнтація» циклу OODA; [10, 11, 14] – розроблено методи та засоби побудови адаптивних онтологій для предметної області СВ ЗСУ; [13] – спроектовано систему автоматизованого синтезу онтологій; [4, 5, 9] – побудовано архітектуру СпППР у складі АСУ тактичної ланки СВ ЗСУ з використанням онтологій; [16] – розроблено автоматизоване робоче місце розвідника у складі АСУ СВ ЗСУ.

**Апробація результатів дисертації.** Наукові та практичні результати роботи доповідались та обговорювались на: Міжнародній науково-технічній конференції «Перспективи розвитку озброєння та військової техніки Сухопутних військ» (м. Львів, 2015 р.); IV-й Міжнародній науковій конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Теоретичні та прикладні аспекти кібернетики» ТААС-2014 (м. Київ, 2014 р.); XIII<sup>th</sup> International Conference «The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics» (м. Свалява, 2015 р.); 9th International Scientific and Technical Conference «Computer Sciences and Information Technologies» CSIT-2014 (м. Львів, 2014 р.); X-й Міжнародній науково-практичній конференції «Математичне та імітаційне моделювання систем» МОДС-2015 (м. Чернігів, 2015 р.); II-й, III-й та IV-й Міжнародних наукових конференціях «Інформація, комунікація, суспільство» ІКС-2013, ІКС-2014, ІКС-2015 (м. Славське, Львівська область, 2013, 2014 та 2015 рр.); Міжнародній науково-практичній конференції «Математика. Інформаційні технології. Освіта» (м. Луцьк, 2013 р.); Міжнародних науково-практичних конференціях «Математика. Інформаційні технології. Освіта» (м. Луцьк, 2013, 2014 рр.); III-й Науково-технічній конференції Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України

«Обчислювальні методи і системи перетворення інформації» (м. Львів, 2014 р.); Міжнародній науковій конференції «Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту» (м. Херсон, 2014 рік); III-й Міжнародній науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Математичні методи, моделі та інформаційні технології» YESS-2014 (м. Чернівці, 2014 р.). Матеріали досліджень апробовані на трьох локальних кафедральних наукових семінарах у повному обсязі.

**Публікації.** За результатами дисертаційних досліджень опубліковано 19 наукових праць, серед яких 1 стаття у закордонному періодичному виданні [3], 5 статей у фахових наукових виданнях України [1-2, 4-6], 13 публікацій у матеріалах наукових конференцій [7-19].

**Структура та обсяг роботи.** Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 152 найменувань. Загальний обсяг дисертації 206 сторінок, з них 151 сторінка основного тексту, 46 рисунків та 11 таблиць.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та основні завдання досліджень, показано зв'язок із науковими програмами, планами, темами, розкрито наукову новизну. Розглянуто практичну цінність, реалізацію та впровадження результатів роботи. Наведено дані про особистий внесок здобувача, апробацію роботи та публікації.

У першому розділі проаналізовано методи моделювання процесу підтримки прийняття рішень у конкурентному середовищі. За основу для моделювання обрано кібернетичну модель OODA (Observation-Oriented-Decision-Action), яку запропонував Джон Бойд. Така модель передбачає багаторазове повторення петлі, яка складається з чотирьох послідовних взаємодіючих процесів: спостереження (observation); орієнтація (orientation); прийняття рішення (decision); дія (action). На основі такої моделі запропоновано підхід до побудови СпППР, основною компонентою якої є база знань (БЗ). Запропонована СпППР є центральною компонентою АСУ тактичною ланкою СВ ЗСУ. Знання, які використовуються в цій предметній області є експліцитні й містяться у нормативних документах (бойовий статут, ТТХ тощо). Тому запропоновано в якості ядра БЗ такої СпППР використати онтологію.

Онтологія – це знання, формально відображені на основі концептуалізації. Онтологія складається з понять (термінів, концептів), організованих у таксономію, відношень між поняттями, а також пов'язаних з ними аксіом і правил виведення. Під моделлю онтології  $O$  розуміють:

$$O = \langle C, R, F \rangle, \quad (1)$$

де  $C$  – скінченна множина понять (концептів, термінів) предметної області (ПО), яку задає онтологія  $O$ ;  $R: C \rightarrow C$  – скінченна множина відношень між поняттями (термінами, концептами) заданої ПО;  $F$  – скінченна множина функцій інтерпретації (аксіоматизація, обмеження), заданих на поняттях чи відношеннях онтології  $O$ .

Надалі постають такі задачі як розроблення методів та засобів використання онтології в петлі OODA, побудова онтології СВ ЗСУ, розроблення програмних модулів у складі СпППР моделювання поведінки інтелектуального агента (тактичної ланки) в конкурентному середовищі на основі онтологій. Розв'язування цих задач наведено у наступних розділах роботи.

У другому розділі розроблено метод використання онтологій у петлі OODA. Розроблено математичне забезпечення кожного з етапів петлі.

Згідно із робленим методом, зміст онтології напряму впливає на 2-й, 3-й і 4-й етапи петлі OODA, а сама структура та наповнення онтології залежить від 1-го та 2-го етапів.

Розглянемо детальніше кожний етап петлі OODA у процесі його взаємодії з онтологією ПО та задач, які в цій області виникають (рис. 1).

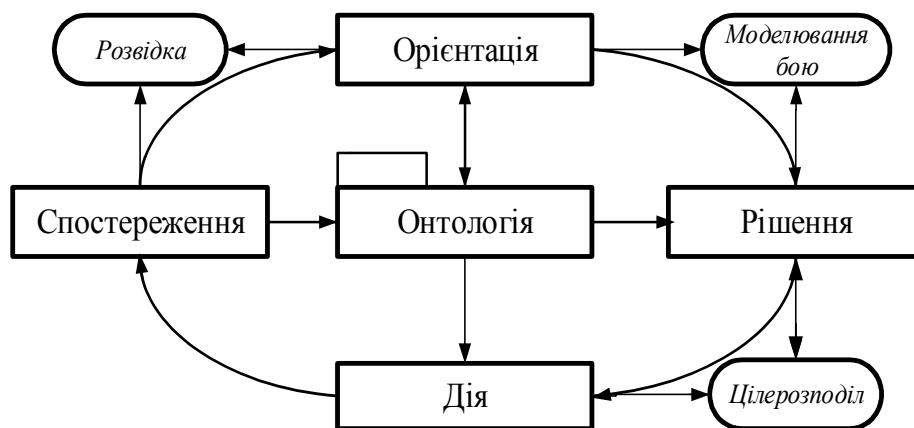


Рис. 1. Етапи петлі Бойда (OODA) та їх взаємодія з онтологією

**Етап „Спостереження”** (observation) дає змогу здійснювати процес розбудови онтології, а також аналізувати її з метою вибору релевантної інформації, яка потрібна на наступних етапах петлі OODA.

Аналіз онтології здійснюється на основі отримання розвідувальних даних. Розвідники передають інформацію про наявні засоби противника, які відшукуються в онтології, опрацьовуються й надходять командирі тактичної ланки.

Задача опрацювання розвідувальних даних загалом виглядає так: група розвідників передає сукупність повідомлень; необхідно визначити їх правдоподібність залежно від джерела надходження інформації. Правдоподібність джерела інформації задає командир тактичної ланки. Якщо повідомлення про один й той самий об'єкт  $x$  надходять з двох різних джерел інформації, то загальна їх правдоподібність обчислюється за формулою Шортліффа:

$$P(x) = P_1(x) + P_2(x) - P_1(x)P_2(x), \quad (2)$$

де  $P_i \in [0,1]$  – правдоподібність  $i$ -го джерела інформації.

Для збору опрацювання та передачі розвідувальних даних розроблено мобільний застосунок «Military intelligence» (розд. 4). Експериментальні дослідження щодо ефективності розробленого застосунку проводились на основі



підключення до мережі Інтернет, однак в майбутньому планується його використання у спеціалізованих військових інформаційно-телекомунікаційних мережах.

На *етапі „Орієнтація”* (orientation) здійснюється побудова плану дій. З цією метою розроблено модуль імітаційного моделювання перебігу бою. Програмний модуль детальніше описано у розд. 4, а у цьому розділі описано математичне забезпечення, на основі якого функціонує цей модуль.

Під час математичного моделювання бойових дій можна виділити низку параметрів, які впливають на результат. До таких параметрів для моделювання бойових дій сухопутних військ відносяться: відстань між військами, характеристики ходових властивостей механізованих військ; місцевість: проходження місцевості (коефіцієнт супротиву руху), видимість цілі (ймовірність знаходження цілі), ймовірність знищення цілі, сектор пошуку цілі, розподіл вогню за цілями противника, кількість необхідних пострілів для знищення цілі (характеристика розсіювання, захищеність цілі, відстань). У більшості випадків значення цих параметрів напряму залежить від озброєння військ (ТТХ ОБТ), тобто від їхнього складу. Наведені дані зберігаються в онтології.

Математична модель бою задається двома множинами  $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}$  та  $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$ , що визначають якісний і кількісний склад воюючих сторін. Для кожного елемента  $q_i \in Q$  існує багатовимірна випадкова функція  $\zeta_i(t) = \zeta(\zeta_{i1}(t), \zeta_{i2}(t), \dots, \zeta_{ir(i)}(t))$  для  $T_0 \leq t \leq T_1$ , де  $T_0$  і  $T_1$ , відповідно, позначають моменти початку і кінця бою. Випадкові функції  $\zeta_{i1}(t), \zeta_{i2}(t), \dots, \zeta_{ir(i)}(t)$  називаються параметрами елемента  $q_i$ ,  $l$  – реалізація випадкової функції  $\zeta_i(t)$ :  $\zeta_i^l(t) = \zeta_i(\zeta_{i1}^l(t), \zeta_{i2}^l(t), \dots, \zeta_{ir(i)}^l(t))$ . Зріз випадкової функції  $\zeta_i(t)$  в заданий момент часу  $T_0 \leq t_z \leq T_1$  називається станом елемента  $q_i$  й позначається через  $C_i(t_z)$ . Вектор  $\zeta_i^l(t_z) = (\zeta_{i1}^l(t_z), \zeta_{i2}^l(t_z), \dots, \zeta_{ir(i)}^l(t_z))$  задає стан елемента  $q_i$  в момент часу  $t_z$  для  $l$ -ї реалізації й позначається як  $C_i^l(t_z)$ . Сукупність  $\{C_i^l(T_0)\}$  для всіх  $i = 1, 2, \dots, n$  задає початковий стан елементів  $Q$  для  $l$ -ї реалізації. Аналогічно описуються елементи  $U_j (j = 1, 2, \dots, m)$ .

Сукупність  $\{D_j^l(T_0)\}$  для всіх  $j = 1, 2, \dots, m$  називають початковим станом сторони  $U$  для  $l$ -ї реалізації, а сукупність  $\{D_j^l(T_1)\}$  – результатом бою сторони  $U$  для  $l$ -ї реалізації. Множини елементів  $\{C_i^l(T_1)\}$  і  $\{D_j^l(T_1)\}$  разом називають об'єктивним результатом бою для  $l$ -ї реалізації, а  $\{C_i^l(T_0)\}$  і  $\{D_j^l(T_0)\}$  – початковим станом бою для  $l$ -ї реалізації.

Як параметри для обраних елементів бою взято, такі випадкові функції від дійсного аргументу часу  $t$  (покрокової реалізації):  $\eta_1(t)$  – функція боездатності;  $\eta_2(t)$  – функція місця розташування;  $\eta_3(t)$  – функція швидкості;  $\eta_4(t)$  – функція

характеру дії;  $\eta_5(t)$  – функція кількості боєприпасів. Детальніше математичні моделі перебігу бойових дій, які використано в розробленому модулі імітаційного моделювання, наведено у книзі «Математичні моделі бойових дій» за редакцією П. Н. Ткаченка

Для визначення важливості цілей противника використано модель адаптивної онтології, яку розробив д.т.н., проф. В. В. Литвин. Важливість цілі визначається шкодою, яку завдаємо противнику, знищивши цю ціль. Для градації цілей проведено опитування експертів військової галузі для отримання оцінки важливості елементів онтології за 10-бальною шкалою (1 – важливість цілі кулемет, 10 – важливість цілі командний пункт бригади), тобто  $W \in [1,10]$ . Важливість елемента онтології –  $C_z$ , який задає ціль противника, визначається як середнє арифметичне експертних оцінок. Тоді  $C_{z^*}$  – ціль противника з максимальною вагою, як елемент онтології, визначаємо за формулою (3):

$$C_{z^*} = \arg \max_{C_z} \left( \sum_{\tilde{c}_i \rightarrow C_z} W_{\tilde{c}_i} + W_{C_z} \right). \quad (3)$$

**„Прийняття рішення”** (decision) – третій етап циклу OODA. Якщо до цього етапу особа, що приймає рішення (ОПР) змогла сформулювати тільки один реальний план, то приймається рішення – виконувати цей план чи ні.

Щоб прийняти рішення щодо виконання плану, необхідно розв’язати задачу цілерозподілу. Цілерозподіл – це операція, яка полягає в призначенні певної цілі певному вогневому засобу. Необхідно знайти ефективний цілерозподіл, призначивши вогневому засобу певну ціль, яку він обстрілює (при цьому можливо, що одна і та ж ціль буде обстріляна кількома вогневими засобами).

Нехай у нашому розпорядженні є  $n$  засобів ураження й нам потрібно обстріляти  $N$  цілей. Кожний засіб ураження може стріляти по кожній цілі, але не з однаковою ефективністю. Ймовірність ураження  $i$ -м засобом  $j$ -ї цілі задана й рівна  $P_{ij}$ . Для визначення цих ймовірностей використовуються таблиці з нормативних документів, які зберігаються в таблицях бази даних (БД). З якої таблиці БД використовувати дані визначається онтологією СВ ЗСУ на основі опрацювання параметрів (видимість, прохідність, швидкість, боєдатність).

Щоб розв’язати задачу цілерозподілу, необхідно перш за все вибрати показник ефективності. Таким показником є математичне сподівання числа уражених цілей  $M_n = M[X_n]$ , де випадкова величина  $X_n$  – кількість уражених цілей. Під час стрільби по груповій цілі середнє число уражених цілей дорівнює сумі ймовірностей ураження окремих елементарних цілей (одиниць):  $M_n = P_1 + P_2 + \dots + P_N$ , де  $P_i$  – ймовірність ураження  $i$ -ї цілі. Тим самим ми отримуємо задачу:

$$M_n = \sum_{j=1}^N P_j \rightarrow \max. \quad (4)$$

Отже, під час цілерозподілу за математичним сподіванням потрібно так розподілити засоби ураження за цілями, щоб сума ймовірностей ураження досягала максимуму. Ця задача детальніше описана у 3-му розділі.

„Дія” (action) – заключний етап циклу, що передбачає практичну реалізацію обраного задуму, або плану.

Підсумовуючи наведене вище, отримуємо таку модель петлі Бойда з використанням онтологій у вигляді автомату Мура (рис. 2).

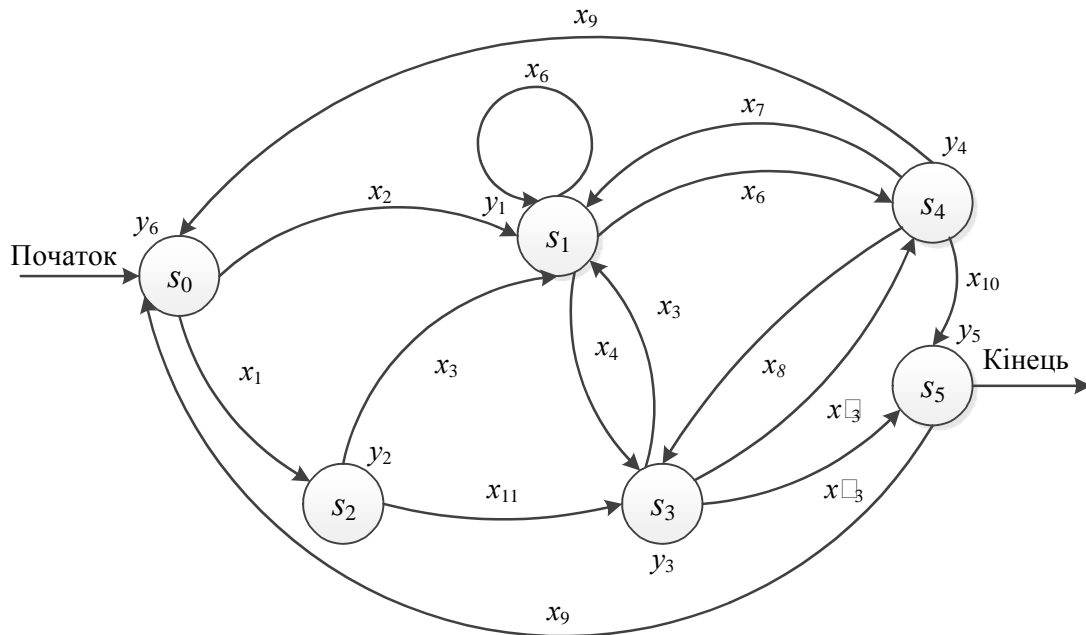


Рис. 2. Автомат Мура петлі Бойда з використанням онтологій

На рис. 2 позначено:  $s_0$  – початковий стан (етап «Спостереження»),  $s_1$  – етап «Орієнтація»,  $s_2$  – «Редагування онтології»,  $s_3$  – «Пошук релевантних знань»,  $s_4$  – етап «Рішення»,  $s_5$  – етап «Дія»;  $x_1$  – дані, яких немає в онтології,  $x_2$  – дані про противника,  $x_3$  – онтологічні дані ( $x'_3$  – для рішення,  $x''_3$  – для дії),  $x_4$  – оцінка обстановки,  $x_5$  – моделювання ситуації,  $x_6$  – синтез даних,  $x_7$  – аналіз даних,  $x_8$  – оцінка рішення,  $x_9$  – збір даних,  $x_{10}$  – пропонуване рішення,  $x_{11}$  – редагування онтології (нові знання),  $x_{12}$  – навколишнє середовище.

**У третьому розділі** розроблено онтологію СВ ЗСУ, правила поведінки в певних ситуаціях на основі дескриптивної логіки та алгоритми функціонування СпППР на різних етапах петлі OODA.

Побудова формальної онтології, що включає аксіоматичну складову, для ПО СВ ЗСУ є надзвичайно складним завданням. Сфера СВ ЗСУ та військових технологій являє собою складно-структуровану область, що включає як абстрактні, узагальнюючі поняття, так і прикладну термінологію. Область військових технологій характеризується відсутністю нормативно встановлених визначень і строгої класифікації технологій. Військові технології постійно розвиваються, що відбивається у розширенні та зміні понятійної системи. Окрім того СВ ЗСУ переходять на нові стандарти, тому в онтологічній моделі необхідно враховувати старі та нові стандарти, співвідношення між ними.

Розроблена онтологія СВ ЗСУ на цей момент містить 384 понять, 207 відношень, 27 % понять є визначеними. Поняттями предметної області є: бойові

машини, гармати, снаряди види озброєнь тощо. Відношеннями між поняттями є: «має максимальну швидкість», «має гармату» тощо. Приклади окремих понять та відношень наведено на рис. 3. В онтології містяться дані з нормативних таблиць, у яких відображено коефіцієнти (переведення з одних величин в інші, ефективності вогневих засобів тощо), різні нормативні розрахункові величини (ймовірності ураження цілей в залежності від відстані та вогневого засобу, кількість боскомплекту тощо), усереднені нормативи виконання окремих дій підрозділів, вогневі можливості артилерійських підрозділів тощо. Конкретні екземпляри понять зберігаються у БД. Це дає змогу командирам тактичних ланок відстежувати стан власних підрозділів.

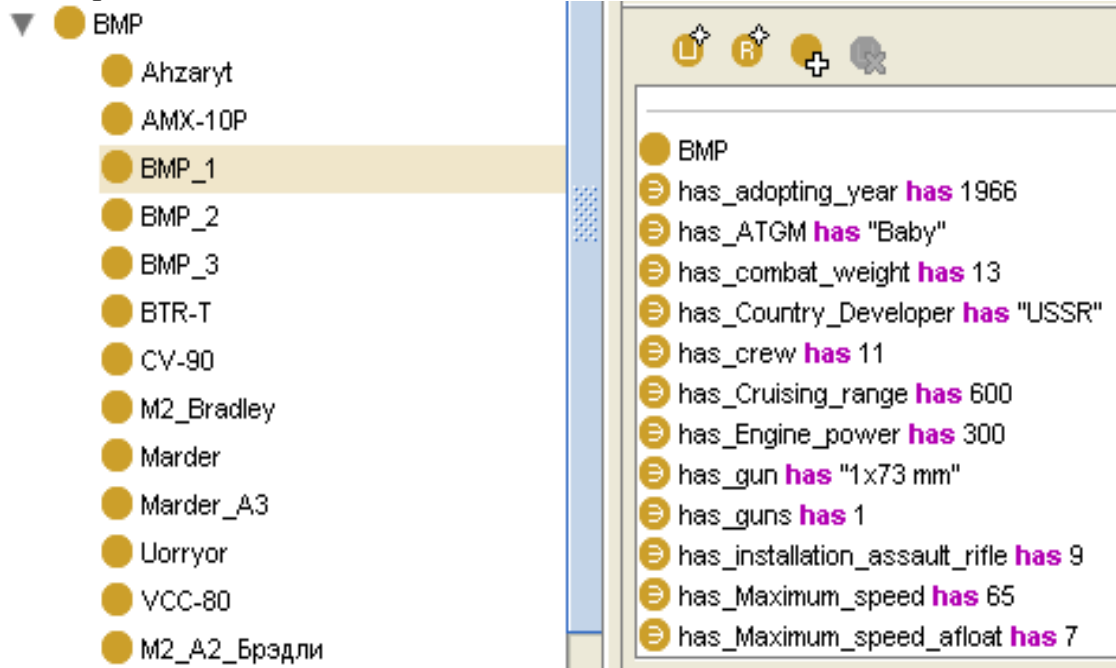


Рис. 3. Фрагмент онтології з визначенням окремих її елементів

Для підвищення ефективності можливих рішень в онтології подані знання експертів щодо поведінки в певних ситуаціях за допомогою SWRL-правил. Ці правила записані на мові дескриптивної логіки. Наприклад, експертне правило «накрити вогнем нашої артилерії ПЗРК противника під час висадки нашого десанту з вертольота на територію ?x, якщо відстань до ПЗРК противника менша-рівна ?y» на мові DL в нашій онтології подано у такому вигляді:  $(\text{Landing}(\text{Desant}, ?x)) \wedge (\text{Location}(\text{PZRK enemy}, ?x) \leq ?y) \rightarrow \text{Straddle}(\text{our artillery}, \text{PZRK enemy})$ .

Для зменшення обчислювальної складності задачі цілерозподілу (4) у цьому розділі запропоновано використати методи штучного інтелекту, а саме генетичні алгоритми. Функцію пристосованості (fitness function) у нашому випадку задає формула (4). Якщо кількість засобів ураження набагато менша від кількості цілей ( $n < N$ ), то цілі наперед ранжуємо згідно з формулою (3).

Для реалізації запропонованого підходу в БД зберігається інформація про наявні засоби ураження, розвідані цілі противника та матриця ймовірностей знищення цілей певним вогневим засобом. Хромосома – це вектор, де номер елемента вектора відповідає ключу засобу знищення в БД, а значення елемента – це ключ цілі в БД. Найкращим розв’язком вважається хромосома з найбільшим

значенням fitness function. Якщо кілька засобів ураження обстрілюють одну ціль, то ймовірність знищення такої цілі зростає згідно з формулою  $p_i = 1 - \prod_{j \in Z_i} (1 - p_{ji})$ , де  $Z_i$  – множина засобів ураження, які обстрілюють  $i$ -ту ціль.

Для моделювання цілерозподілу генерувалась певна кількість поколінь хромосом. Результати експериментів показали, що під час генерації 30 поколінь знайдена хромосома з найбільшою fitness function близька до оптимального цілерозподілу. Розроблений модуль цілерозподілу на основі генетичних алгоритмів входить до складу СпППР. Основною перевагою такого методу є зменшення складності обчислення знаходження ефективного цілерозподілу, оскільки складність повного перебору – експоненційна, а генетичного алгоритму – лінійна. Таким чином прискорюється процес підтримки прийняття рішень, особливо це важливо, коли його необхідно провести в реальному часі. Хоча отриманий цілерозподіл не є завжди оптимальним, однак він близький до оптимального, а вигреш у часі отримання розв'язку є значним.

Також у цьому розділі розроблено архітектуру СпППР та алгоритми функціонування її окремих модулів на основі запропонованого підходу. До складу СпППР входять модулі: розвідування, імітаційного моделювання, цілерозподілу, коригування стрільби, а також БЗ, подана у вигляді онтології та БД, у якій зберігається поточний стан власних військ та необхідна довідникова інформація (рис. 4).

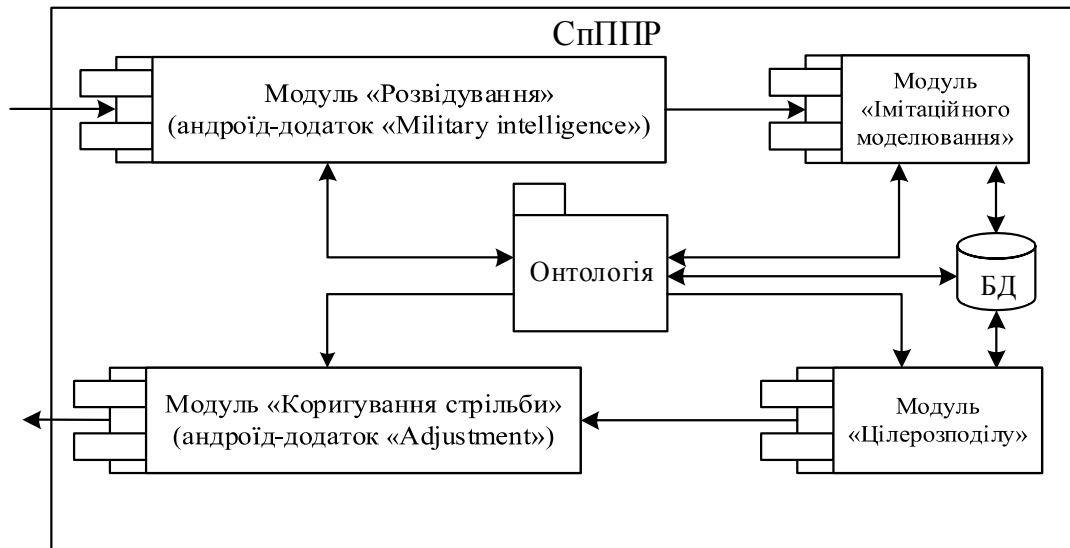


Рис. 4. Архітектура СпППР

У **четвертому розділі** наведено результати практичного впровадження запропонованих методів та засобів.

У склад розробленої СпППР входять такі модулі: збору, обробки та передачі розвідувальних даних (мобільний застосунок «Military intelligence»), імітаційного моделювання перебігу бойових дій, цілерозподілу, корегування стрільби (мобільний застосунок «Adjustment»).

Мобільний застосунок «Military intelligence» розроблений для швидкого та ефективного здійснення військової розвідки. Він призначений для збору та

узагальнення відомостей про бойовий склад, положення, стан угруповань військ наземного противника, характер його дій і намірів, переваг та недоліків, а також ступінь та характер інженерного обладнання. Застосунок надає такі можливості: швидко визначити власне місце розташування; розставити на карті об'єкти відповідні тим, що на розвідувальній території; автоматично визначити їхні координати; охарактеризувати об'єкт, використовуючи піктограми військових стандартів та з доданням власних коментарів; при можливості надавати штабу онлайн-перегляд розвідувальної території; заносити всі відомості у БД, яка відображається в штабі.

Вимоги до апаратно-програмного забезпечення: операційна система Android версії 4.0.4 та вище; разове під'єднання до мережі Інтернет; потрібно не менше ніж 10 Мб вільного місця в пам'яті пристрою. Безпека передачі даних через мережу Інтернет відбувається за допомогою IPSec (Internet Protocol Security), комплекс, що містить увесь набір протоколів: протокол безпеки зв'язку IKE; протоколи шифрування (DES, 3DES, AES, RSA); протоколи перевірки достовірності даних (MD5, SHA-1); протокол обміну ключами (DH).

Після запуску програми на карту наноситься об'єкт, що спостерігається (рис. 5а) та описуються його властивості (рис. 5б). Застосунок дає змогу вивантажити дані, очистити карту, здійснити відеотрансляцію території, зберегти дані в пам'яті пристрою, або надіслати на автоматизоване робоче місце командирів тактичної ланки.

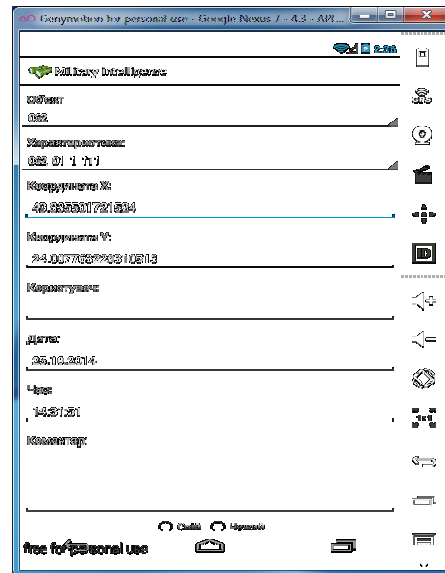
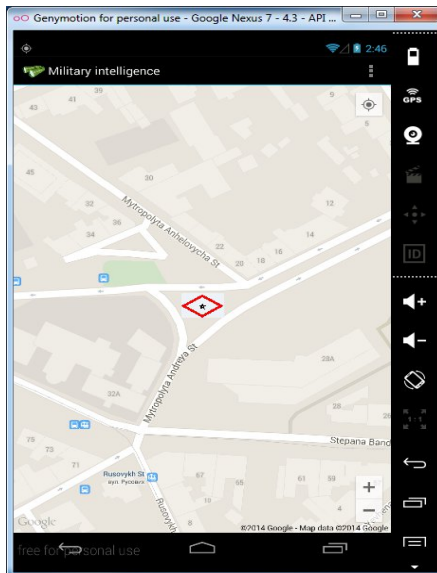


Рис. 5а. Розміщений об'єкт на карті      Рис. 5б. Характеристика об'єкту

Повідомлення, отримані від розвідника, діляться на 5 категорій залежно від їх важливості:

1) зберігається на автоматизованому робочому місці (АРМ) командира тактичної ланки і при відповідному запиті оператора АРМ відображається на моніторі;

2) повідомлення відображається на електронній карті та в командному вікні;

3) повідомлення відображається на електронній карті та в командному вікні, супроводжується звуковим сигналом, не вимагає негайної зворотної реакції

оператора АРМ, який отримав повідомлення;

4) повідомлення відображається на електронній карті та в командному вікні, супроводжується звуковим сигналом, на екрані АРМ відображається окреме вікно, яке тимчасово блокує попередню роботу оператора АРМ та вимагає підтвердження, що повідомлення прочитано;

5) повідомлення відображається на електронній карті та в командному вікні, супроводжується звуковим сигналом, на екрані АРМ відображається окреме вікно, яке тимчасово блокує попередню роботу оператора АРМ та вимагає підтвердження, що повідомлення прочитано, вимагається зворотна реакція (рішення, відповідь) командира на отримане повідомлення.

Надалі, згідно до отриманих даних про противника, командир моделює розташування власних військ. Для цього використовується модуль імітаційного моделювання перебігу бойових дій. На карту наносяться власні та чужі війська й запускається відповідний модуль.

Головне вікно програми з картою висот та взаємним розміщенням бойових машин наведено на рис. ба. На графіку, наведеному на рис. бб, відображено ймовірність неуразнення бойових засобів (бойових машин (БМ)).

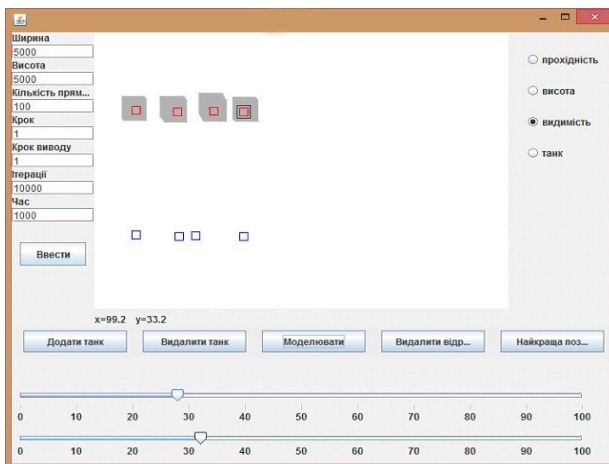


Рис. ба. Розміщення БМ на карті

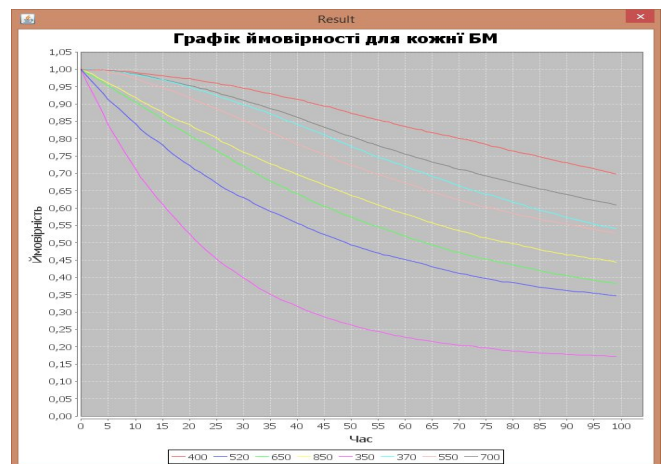


Рис. бб. Ймовірність неушкодження для кожної БМ

Колір лінії відповідає певній бойовій машині. Основні дані для моделювання перебігу бойових дій зберігаються в онтології. Модуль також дає змогу знаходити найкращу позицію розташування БМ під час бою. В якості карт місцевості використано геоінформаційну систему «ArcGIS». Для окремих ситуацій, використання експертних правил, які містяться в онтології, дає змогу до 20 % підвищити ймовірність неушкодження БМ.

Вхідними даними для модуля цілерозподілу є ймовірнісні оцінки знищення противника в залежності від вогневого засобу, відстані до противника, коефіцієнти (видимості, прохідності місцевості тощо). Ці ймовірнісні величини зберігаються в БД й визначаються на основі нормативних документів. На виході модуля отримуємо вектор, елементами якого є пара («наш вогневий засіб»-«ціль противника»).

Мобільний застосунок «Adjustment» дає змогу здійснити пристрілку цілі. Розрахунки врахування установок для ураження цілі можна здійснювати окомірно, скорочено, повною підготовкою. Однак кожний з таких методів має свої недоліки,



а саме мала точність, або значні витрати часу. Під час пристрільки враховуються метео- і балістичні відхилення для топографічних даних до цілі:  $D_v = D_t + \Delta D$ , де  $D_v$  – дальність вирахована,  $D_t$  – дальність топографічна,  $\Delta D$  – сумарна поправка дальності на метео-, балістичні відхилення. Приціл, що відповідає  $D_v$ , забезпечує проходження траєкторії снаряда через центр цілі. У розробленому застосунку використано пристрільку за Графіком. Таку пристрільку доцільно використовувати у випадках, коли ціль знаходиться на вершині, або крутому схилі місцевості. Суть пристрількування за Графіком, полягає в тому, що трьома пострілами на різних установках прицілу й напрямку в районі цілі позначається площина стрільби і створюється масштаб для визначення відхилень за дальністю і напрямком у метрах.

Сітку визначення коректур для пристрількування за допомогою мобільного застосунку «Adjustment» будують на Canvas. Для побудови сітки проводять дві взаємоперпендикулярні лінії, що для корегувальника відповідають осям: лінії спостереження X (дальність) і напрямку Y (бокові відхилення) (рис. 7а).

Мобільний застосунок «Adjustment» надає такі можливості: дає змогу військовослужбовцю (не артилеристу) передати в артилерійський підрозділ інформацію про розвідану ціль (рис. 7а); у ході пристрільки коригувальник, подає команди згідно вимог керівних документів артилерії; військовослужбовцем будь-якого загальновійськового підрозділу здійснити пристрільку цілі та забезпечити визначення установок для стрільби на ураження цілі (рис. 7б); використовуючи масштаби дальності та напрямку, здійснити обстріл нової цілі, яка знаходиться у радіусі до 1 км від пристрільної; не потрібно визначати та передавати координати коригувальника, що усуває можливість противнику визначити його місце знаходження; масштабувати зображення на дисплеї, а також виводити таймер зворотного відліку часу польоту снаряду (пльотний час може бути до 65 секунд, тому тривале спостереження в оптичний прилад значно стомлює зір коригувальника). Вимоги до апаратно-програмного забезпечення та безпека передачі даних аналогічні, як у застосунку «Military intelligence».

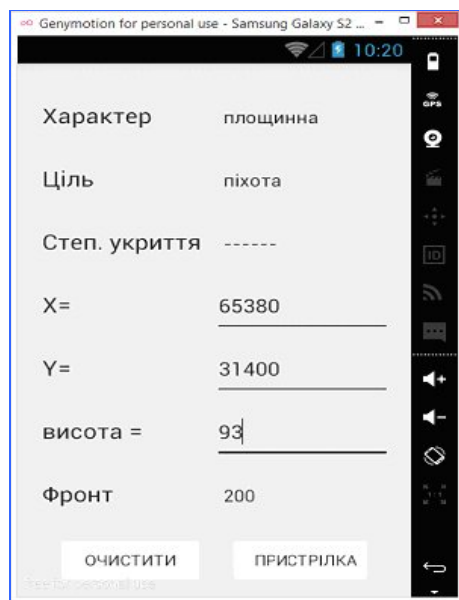


Рис. 7а. Характеристика цілі

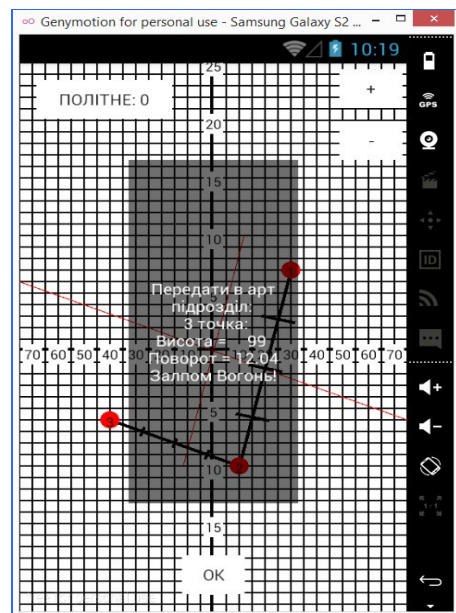


Рис. 7б. Поправка до цілі



Під час виконання дисертаційного дослідження, за допомогою розроблених методів і програмних засобів, експериментально доведено, ефективність розробленої СпППР, що дала змогу до 30 % скоротити час, який витрачають командири тактичних ланок на планування і доведення завдань до підлеглих; покращення тактичної і бойової підготовки військових кадрів СВ ЗСУ.

У додатку наведено фрагменти програмних кодів модулів розробленої СпППР, а також акти впровадження результатів дисертаційної роботи.

## **ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ**

У дисертаційній роботі вирішено важливе науково-прикладне завдання розроблення методів та засобів побудови системи підтримки прийняття рішень у конкурентному середовищі (військова сфера) з використанням онтологічного підходу та підвищення ефективності таких систем, якого досягнуто завдяки застосуванню розробленого математичного та програмного забезпечення, що ґрунтується на використанні онтологій у цих системах, адаптацією онтологій до специфіки задач предметної області. Під час виконання роботи одержано такі наукові та практичні результати.

1. Обґрунтовано доцільність розроблення математичних моделей, методів та засобів підтримки прийняття рішень у конкурентному середовищі на основі петлі Бойда з використанням онтологічного підходу в тих предметних областях, в яких знання є експліцитними. Такою предметною областю виступає військова сфера.

2. Розроблено модель петлі Бойда на основі автомата Мура. Станами автомата виступають етапи петлі Бойда, а також процеси наповнення, редагування онтології та пошук релевантних знань в онтології. Визначено можливі переходи між станами автомата і передача параметрів між ними. Розроблений автомат служить основою для побудови СпППР для командирів тактичних ланок СВ ЗСУ.

3. Для моделювання процесу підтримки прийняття рішень у конкурентному середовищі розроблено математичне забезпечення та методи використання онтології предметної області на чотирьох етапах петлі OODA (спостереження, орієнтація, рішення, дія). Так для військової сфери на етапі «Спостереження» розвідувальні дані аналізуються онтологією предметної області з метою визначення сильних та слабких сторін противника. На етапі «Орієнтації» онтологічні дані використовуються для імітаційного моделювання можливого перебігу бою й для оптимального розставлення власних сил. Для етапу «Рішення» розроблено метод цілерозподілу на основі генетичних алгоритмів, що дало змогу зменшити обчислювальну складність пошуку ефективного цілерозподілу, тим самим пришвидшити час необхідний командирі тактичної ланки для прийняття рішення. Ймовірнісні дані знищення цілей противника певним засобом, беруться з онтології на основі аналізу вхідних параметрів (видимість, прохідність, швидкість, боєздатність, погодні умови). Також для підвищення ефективності можливих рішень в онтології подано експертні знання на основі дескриптивної логіки.

4. Розвинуто метод використання онтологій у прикладних предметних областях, а саме у військових застосуваннях, за рахунок використання дескриптивної логіки та визначення експертами ваг окремих елементів онтології, що дало змогу підвищити ефективність етапів «Орієнтація» та «Рішення» петлі Бойда

під час імітаційного моделювання перебігу бойових дій та цілерозподілу. Для окремих випадків згідно з результатами імітаційного моделювання, використання експертних правил та оцінок елементів онтології, дає змогу до 20 % підвищити ймовірність неушкодження власних військ.

5. Розроблено архітектуру підсистеми підтримки прийняття рішень, яка складається із модулів, що задають відповідний етап петлі OODA. Центральною компонентою СпППР є онтологія предметної області. Побудовано таку онтологію для СВ ЗСУ. Розроблена онтологія містить 384 понять, 207 відношень. Здійснено визначення окремих елементів онтології засобами дескриптивної логіки, 27 % понять є визначеними. Екземпляри окремих понять онтології зберігаються в БД.

6. Розроблено програмне забезпечення для кожного з етапів петлі OODA на основі побудованих методів та онтологічного підходу. Для етапу «Спостереження» розроблено мобільний застосунок «Military intelligence», який опрацьовує розвідувальну інформацію і передає її в штаб. Для реалізації етапу «Орієнтація» розроблено модуль імітаційного моделювання, вхідними даними якого є отримана розвідувальна інформація, а на виході план розташування власних військ. Для реалізації етапу «Рішення» розроблено модуль пошуку ефективного цілерозподілу, вхідними даними якого є ймовірності ураження цілей певним вогневим засобом, а на виході призначення вогневого засобу цілі противника, яку він обстрілює. Для етапу «Дія» розроблено мобільний застосунок «Adjustment» для корегування стрільби. Використання розроблених моделей, методів та програмних модулів дало змогу до 30 % скоротити час, який витрачають командири тактичних ланок на планування військових дій.

### **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Оборська О. В. Інформаційна система моделювання воєнних дій механізованих військ з використанням онтологічного підходу / О. В. Оборська // Проблеми програмування : наук. журн. / Національна академія наук України; Інститут програмних систем. – Київ, 2014. – № 4. – С. 59–66.
2. Литвин В. В. Метод моделювання процесу підтримки прийняття рішень у конкурентному середовищі / В. В. Литвин, О. В. Оборська, Р. В. Вовнянка // Математичні машини й системи : наук. журнал Інституту проблем математичних машин і систем НАН України. – Київ, 2014. – № 1. – С. 50–57.
3. Lytvyn V. Method of automated development and evaluation of ontologie's qualities of knowledge / V. Lytvyn, M. Hopyak, O. Oborska // Applied-Computer-Science / Instytut Technologicznych Systemów Informacyjnych ; Politechnika Lubelska. – Lublin, Poland. 2014. – Vol. 10, № 4. – S. 26–37.
4. Оборська О. В. Моделювання поведінки раціонального агента на основі стимулюючого навчання / О. В. Оборська, Р. В. Вовнянка // Вісник Нац. ун-ту „Львівська політехніка” „Інформаційні системи та мережі”. – Львів, 2014. – № 805. – С. 61–69.
5. Литвин В. В. Моделювання автоматизованої системи управління тактичної ланки на основі онтологічного підходу / В. В. Литвин, О. В. Оборська // Вісник

- Кременчуцького нац. ун-ту ім. М. Остроградського. – Кременчук, 2014. – Вип. 5/2014(88). – С. 92–97.
6. Литвин В. В. Підхід до побудови програмного забезпечення збору, передачі та обробки розвідувальних даних в АСУ тактичної ланки / В. В. Литвин, В. Л. Живчук, О. В. Оборська, П. П. Ткачук // Військово-технічний збірник Академії сухопутних військ ім. гет. Петра Сагайдачного – Львів, 2015. – Вип. 2(13). – С. 61–64.
  7. Литвин В. В. Використання інформаційних технологій штучного інтелекту під час розв’язування задачі цілерозподілу та його реалізація як окремого модуля в складі АСУ артилерії / В. В. Литвин, В. Л. Живчук, О. В. Оборська // Науково-практична конференція „Перспективи розвитку ракетних військ і артилерії Сухопутних військ”, Львів : 6 листопада 2015. – Львів, 2015. – С. 72.
  8. Литвин В. В. Моделювання поведінки інтелектуального агента на основі петлі OODA / В.В.Литвин, М. Я. Гопяк, Р. В. Вовняна О. В. Оборська // Міжнародна науково-практична конференція „Інформаційні технології. Освіта”, Луцьк-Світязь : 6-8 червня 2014. – Луцьк, 2014. – С. 60-61.
  9. Литвин В. В. Моделювання етапу «Орієнтація» в петлі OODA під час інформаційної війни / В. В. Литвин, О. В. Оборська // Матеріали 2-ї міжнародної наукової конференції „Інформація, комунікація, суспільство” (ІКС-2014), Львів-Славське : 21-24 травня 2014. – Львів, 2014. – С. 190-191.
  10. Литвин В. В. Онтологічний підхід до побудови АСУ тактичної ланки / В. В. Литвин, О. В. Оборська // III науково-технічна конференція Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України „Обчислювальні методи і системи перетворення інформації”, Львів : 25-26 вересня 2014. – Львів, 2014. – С. 188-191.
  11. Lytvyn V. V. Intelligent agents based on adaptive ontology / V. V. Lytvyn, O. V. Oborska // IV Міжнародна наукова конференція студентів, аспірантів та молодих вчених „Теоретичні та прикладні аспекти кібернетики” (ТААС-2014), Київ : 24-28 листопада 2014. – Київ, 2014. – С. 264-273.
  12. Oborska O. The problem of building automated ontology base / Oksana Oborska, Solomia Khrushch // 9th International Scientific and Technical Conference „Computer Sciences and Information Technologies” (CSIT-2014), Lviv Polytechnic National University : 18-22 November 2014. – Lviv, 2014. – С. 113.
  13. Литвин В. В. Метод підтримки прийняття рішень у конкурентному середовищі на основі петлі OODA / В. В. Литвин, М. Я. Гопяк, Р. В. Вовняна, О. В. Оборська // Матеріали міжнародної наукової конференції „Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту”. – Херсон, 2014. – С. 219-220.
  14. Ковалевич В. М. Проектування системи автоматизованого синтезу онтології матеріалознавства / В. М. Ковалевич, А. О. Яценко, О. В. Оборська // Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених та студентів „Інформаційні технології, економіка та право: стан та перспективи розвитку” (ІТЕП-2014), Чернівці : 3-4 квітня 2014. – Чернівці, 2014. – С. 30-31.

15. Lytvyn V. Method development and quality evaluation of an ontology / V. Lytvyn, D. Dosyn, R. Vovnjanka, M. Hopyak, O. Oborska // XIIIth International Conference „The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics”, Polyana-Svalyava (Zakarpattia) : 24-27 February 2015. – Lviv, 2015. – С. 113-115.
16. Оборська О. В. Розробка модуля імітаційного моделювання бойових дій для етапу „орієнтація” циклу OODA / О. В. Оборська, Р. В. Вовнянка, М. Я. Гопяк // IV-та Міжнародна наукова конференція „Інформація, комунікація, суспільство” (ІКС-2015), Львів-Славське: 20-23 травня 2015. – Львів, 2015. – С. 50-52.
17. Живчук В. Л. Розробка робочого місця розвідника в складі автоматизованої системи управління СВ ЗСУ / В. Л. Живчук, В. В. Литвин, О. В. Оборська // Міжнародна науково-технічна конференція ”Перспективи розвитку озброєння та військової техніки Сухопутних військ”, Львів : 14-15 травня 2015. – Львів, 2015. – С. 142.
18. Литвин В. В. Метод планування рішень у конкурентному середовищі на основі використання онтологій / В. В. Литвин, О. В. Оборська, М. Я. Гопяк, Р. В. Вовнянка // Десята міжнародна науково-практична конференція „Математичне та імітаційне моделювання систем” (МОДС 2015), Чернігів : 22-26 червня 2015. – Чернігів, 2015. – С. 460-465.
19. Литвин В. В. Моделювання процесу підтримки прийняття рішень в конкурентному середовищі на основі петлі OODA / В. В. Литвин, Р. В. Вовнянка, О. В. Оборська // Міжнародна науково-практична конференція „Інформаційні технології. Освіта”, Луцьк-Світязь: 3-4 червня 2013. – Луцьк, 2013. – С. 31-32.

## АНОТАЦІЇ

**Оборська О. В. Методи та засоби моделювання петлі Бойда у військових застосуваннях з використанням онтологічного підходу.** – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.03 – «Математичне та програмне забезпечення обчислювальних машин і систем». – Національний університет «Львівська політехніка» МОН України, Львів, 2016.

У дисертації вирішено науково-прикладне завдання розроблення методів та засобів побудови систем підтримки прийняття рішень у конкурентному середовищі з використанням онтологічного підходу. Для моделювання процесу підтримки прийняття рішень у військовій сфері розроблено математичне забезпечення та методи використання онтології предметної області на чотирьох етапах петлі Бойда (OODA – спостереження, орієнтація, рішення, дія). Розроблено архітектуру підсистеми підтримки прийняття рішень командирами тактичних ланок, яка складається із модулів, що задають відповідний етап петлі OODA. Центральною компонентою такої підсистеми є онтологія предметної області. Розроблено програмне забезпечення для кожного з етапів петлі OODA на основі побудованих методів з використанням онтологічного підходу. Наведено приклади функціонування побудованих програмних модулів.

*Ключові слова:* система підтримки прийняття рішень, онтологія, база знань, петля Бойда, генетичний алгоритм, математичне сподівання, ймовірність.

**Оборская О. В. Методы и средства моделирования петли Бойда в военных применениях с использованием онтологического подхода.** – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.05.03 – «Математическое и программное обеспечение вычислительных машин и систем». – Национальный университет «Львівська політехніка» Министерства образования и науки Украины, Львов, 2016.

В диссертации решено научно-прикладное задание разработки методов и средств построения систем поддержки принятия решений в конкурентной среде с использованием онтологического подхода. Для моделирования процесса поддержки принятия решений в военной сфере разработаны математическое обеспечение и методы использования онтологии предметной области на четырех этапах петли Бойда (OODA – наблюдение, ориентация, решение, действие). Разработана архитектура подсистемы поддержки принятия решений командирами тактических звеньев, которая состоит из модулей соответствующих этапам петли OODA. Центральной компонентой такой подсистемы является онтология предметной области. Разработано программное обеспечение для каждого из этапов петли OODA на основе построенных методов и онтологического подхода. Приведены примеры функционирования построенных программных модулей.

*Ключевые слова:* система поддержки принятия решений, онтология, база знаний, петля Бойда, генетический алгоритм, математическое ожидание, вероятность.

**Oborska O. V. Methods and means of Boyd loop modeling in military applications by using ontological approach.** – Manuscript.

Thesis for a candidate's degree in technical sciences in speciality 01.05.03 – «Mathematical and software support of computer machines and systems». – Lviv Polytechnic National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2016.

In the thesis scientific and practical task of methods and means development for building decision support systems in competitive environment by using ontological approach is solved. The efficiency increase of such systems through the use of developed mathematical tools and software supply, based on the use of ontology in these systems, the adaptation of ontology to the specificity of domain problems is achieved. During the research the following scientific and practical results are obtained.

The development expediency of mathematical models, methods and tools for decision support in a competitive environment with the use of the ontological approach to the subject areas in which knowledge is clearly regulated are justified. Such a subject area is the military sphere.

Boyd loop model based on Moore automaton is developed. The states of the automaton are the Boyd loop stages as well as processes of ontology editing and search for relevant knowledge in the ontology. The possible transitions between the stages of the automaton and which parameters are transmitted at the same time are defined. Such an

automaton is the basis for building of GF AFU (Ground Forces of the Armed Forces of Ukraine) tactical units by decision support subsystem commanders.

For modeling the decision support process in the competitive environment the mathematical supply and methods of using the domain ontology in four OODA loop stages (observation, orientation, decision, action) are developed. So for the military sphere on the stage of «Observation» the reconnaissance data are analyzed by the subject area ontology in order to determine the strengthes and weaknesses of the enemy. On the «Orientation» stage the ontological data are used for simulation modeling of the possible course of the fight and for the optimal placement of own forces. In the «Decision» stage the target distribution method based on genetic algorithms, which allows to reduce the computational complexity, and thus significantly speed up the time needed for tactical section commander for decision making. Probability data concerning the destruction of enemy forces with the use of the certain means, which is input data of the developed method, are taken from the ontology based on the analysis of the normative tables. Also, in order to improve the efficiency of possible solutions in the ontology expert knowledge based on the descriptive logic is presented.

Method of using adaptive ontologies in applied subject areas such as military applications taking into consideration the experts definition of ontology individual elements weights, allows us to increase the effectiveness of such Boyd loop stages as «Orientation» and «Decision» during a simulation modeling of the fight flow and target distribution. In some situations, the use of expert rules contained in the ontology allows 20 % probability to increase the own forces intact.

The architecture of decision support subsystem which consists of modules that determine the appropriate stages of the OODA loop is developed. The central component of the decision support subsystem is the subject area ontology. Such ontology of the DF AFU is built. The main elements of ontology is fighting sets, their tactical and technical characteristics, combat statute, normative documents that define the extent of fire damage, and etc. The definition of separate elements of ontology with the use of descriptive logic is made.

The software for each stage of the OODA loop based on the created methods and ontological approach is developed. For the «Observation» stage the mobile application «Military intelligence», which processes the reconnaissance information and transmits it to the command staff is developed. For the realization of the «Orientation» stage the simulation modeling module is developed, the input data of which is the obtained reconnaissance information and the output point of which is the plan of own forces location. For the realization of «Decision» stage the module of the efficient target distribution is developed, the input data of which is the probability of targets attack by certain fire means, and the output is the conformity of fire means to enemy target, which it attacks. For the "Action" stage the mobile application «Adjustment» is developed that corrects shooting. The use of the developed models, methods and software modules gave an opportunity to reduce up to 30 % the time spent by tactical units commanders for planning of military actions.

*Key words:* decision support system, ontology, knowledge database, Boyd loop, genetic algorithm, mathematical expectation, probability.