

ПІДГОТОВКА ВІЙСЬКОВИХ ФАХІВЦІВ

УДК 355/359.07

DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.24.2021.64-72>

В.І. Грабчак, Ю.П. Сальник, Б.Ю. Волочій

Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

ДИСКРЕТНО-НЕПЕРЕРВНА СТОХАСТИЧНА МОДЕЛЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ АНАЛІЗУ, УЗАГАЛЬНЕННЯ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ ДОСВІДУ ЗАСТОСУВАННЯ ВІЙСЬК (СИЛ)

В статті надано теоретичне узагальнення практичних питань підвищення ефективності підготовки та застосування військ (сил) шляхом впровадження системи аналізу, узагальнення та впровадження досвіду (САУВД) застосування військ (сил). Розроблена дискретно-неперервна стохастична модель реакції системи САУВД, яка враховує дев'ять показників функціональності складових системи та надає вектор її стану вісьмома компонентами, що дозволяє відтворити всі можливі варіанти реакції системи та отримати значення показників ефективності її функціонування. Для виконання необхідних розрахунків сформована система диференціальних рівнянь Колмогорова-Чепмена першого порядку, розв'язання якої дає змогу отримати значення показників ефективності САУВД.

Ключові слова: система аналізу, узагальнення та впровадження досвіду, дискретно-неперервна стохастична модель, рівняння Колмогорова-Чепмена, показники ефективності, вектор стану, мажоритарний принцип, базові події, органи управління.

Постановка проблеми в загальному вигляді та аналіз літератури

Важливою складовою бойової підготовки військових формувань є ефективне функціонування системи аналізу, узагальнення та впровадження досвіду (САУВД) застосування військ (сил). Саме на сучасному етапі трансформації структури військових формувань України і, зокрема, Збройних сил (ЗС) України САУВД застосування військ (сил) в цілому та її окремим елементам приділяється підвищена увага [1, 2]. Незаперечним є той факт, що аналіз, узагальнення та розповсюдження досвіду є тим інструментом, який здатний забезпечити підвищення ефективності виконання певних завдань у майбутньому. Поширення передового досвіду, ідентифікованих та отриманих уроків є запорукою уникнення аналогічних проблем і не повторення помилок, які були допущені в минулому. Але слід зазначити, що вищезазначена система на сьогоднішній день далека до досконалості. Через ряд об'єктивних та суб'єктивних причин протягом останніх років вдалося досягти суттєвих зрушень в покращенні процесу удосконалення підготовки частин (підрозділів) ЗС України, але не зважаючи на це САУВД знаходиться на стадії формування, а управління цим процесом потребує подальшого удосконалення.

У ЗС України прийнято та впроваджено в життя значна кількість доктринальних документів, в тому

числі нові засади підготовки військ (сил); провадяться заходи щодо впровадження Концепції системи підготовки частин (підрозділів) з метою приведення системи підготовки військ у відповідність до стандартів, прийнятих в арміях країн НАТО [3, 4].

Значний внесок в розвиток теорії і практики підготовки та застосування військ внесли такі вчені, як Г. Воробйов, В. Городнов, В. Пашковський, Ю. Пашук, П. Шеманский, М. Яковлев, М. Kress, Z. Waliński, P. Yared, водночас основним недоліком відомих підходів є відсутність відповідного науково-методичного апарату (методів, методик та математичних моделей) та чіткого алгоритму вивчення, узагальнення та впровадження передового досвіду застосування військ (сил) у процес підготовки та застосування частин (підрозділів) ЗС України.

На сьогодні проблема підвищення ефективності функціонування САУВД військ (сил) вимагає пошуку та розвитку нових методів досліджень. Для опису і оцінки системи підготовки та застосування військ (сил) все більшого розповсюдження отримують математичні моделі, що описують процедури функціонування системи [5-8].

Так, описові моделі військових дій ґрунтуються на методах теорії ймовірностей і статистичної теорії рішень (прийняття рішень в умовах "природної" невизначеності) [9, 10], теорії надійності і теорії

масового обслуговування [11, 12], теорії експертних оцінок [13, 14].

До описових моделей можна віднести і якісний аналіз відповідних динамічних систем, дослідження їх структурної стійкості. Імітаційні моделі військових дій ґрунтуються на апараті марковських ланцюгів, диференціальних рівнянь, кінцевих автоматів або методах розподіленого штучного інтелекту. Найбільш відомими і ті, які отримали широкий розвиток, ує так звані ланчестерівські моделі, що використовують апарат диференціальних рівнянь для опису динаміки чисельності сил учасників військових конфліктів [5, 15, 16].

Водночас, проведений аналіз джерельної бази, звітів щодо проведення досліджень на навчаннях та інших заходах оперативної, бойової підготовки та повсякденної діяльності військ (сил) показав відсутність ефективних математичних моделей функціонування САУВД військ (сил).

Перспективним напрямом опису функціонування САУВД військ (сил) є побудова дискретно-неперервних стохастичних моделей, що ґрунтуються на диференціальних рівняннях Колмогорова – Чепмена, які пов'язують умовні ймовірності марківського процесу в різні моменти часу. Вони дають змогу описати процедури функціонування САУВД, оцінити ефективність підготовки та застосування військ (сил).

Таким чином, **метою статті** є розроблення дискретно-неперервної стохастичної моделі реакції САУВД для різних варіантів її реалізації.

Основна частина

Роботу САУВД можна представити послідовним виконанням процедур, які формують реакцію органів управління (тактичного рівня – окремих підрозділ, військова частина (в/ч); оперативного рівня (ОР) – угруповання військ, оперативне командування (ОК); стратегічного рівня – Генеральний штаб) на отримання досвіду.

Процедура 1. Ідентифікація досвіду. Після виконання підрозділами завдань за призначенням відповідний досвід може бути ідентифікований або ні. Це залежить від багатьох чинників, серед яких інтенсивність залучення підрозділів, характер завдань, що виконуються, кваліфікація осіб відповідальних за узагальнення досвіду (командирів) тощо.

Процедура 2. Узагальнення досвіду, отриманого в підрозділі. Виконання особою, відповідальною за узагальнення досвіду в підрозділі, набору функцій, що забезпечують збирання, накопичення, систематизацію та безпосередньо узагальнення отриманого досвіду.

Повідомлення з результатами узагальнення досвіду передається від підрозділів до органу управління в/ч за допомогою засобів зв'язку.

Процедура 3. Доставлення інформації з узагальненим досвідом до органу управління в/ч. Процедура доставлення інформації може бути або успішною або ні. Від кожного підрозділу, з певною ймовірністю, інформація з узагальненим досвідом може бути доставлена або не доставлена. Недоставлення інформації може бути спричинено умовами поширення радіохвиль, наявністю завад природного або техногенного характеру.

Процедура 4. Узагальнення підрозділами отриманого досвіду органом управління в/ч. Виконання особами, відповідальними за узагальнення досвіду в підрозділі, набору функцій, що забезпечують збирання, накопичення, систематизацію та безпосередньо узагальнення отриманого досвіду. Рішення про узагальнення досвіду приймається за мажоритарним принципом в залежності від кількості підпорядкованих підрозділів. Наприклад, якщо таких підрозділів п'ять, то використовується мажоритарне правило {3 із 5}.

Повідомлення з результатами узагальнення досвіду передається від органу управління в/ч до органу управління ОР за допомогою засобів зв'язку.

Процедура 5. Доставлення інформації з узагальненим досвідом до органу управління ОР. Процедура доставлення інформації може бути або успішною або ні, з певною ймовірністю.

Процедура 6. Узагальнення отриманого досвіду на основі інформації, що надходить від підпорядкованих в/ч.

Аналогічно до процедури 4 – виконання особами, відповідальними за узагальнення досвіду в органі управління ОР, визначеного набору функцій.

Процедура 7. Доставлення інформації з узагальненим досвідом до органу управління стратегічного рівня. Процедура доставлення інформації може бути або успішною або ні, з певною ймовірністю.

Процедура 8. Узагальнення та розповсюдження отриманого досвіду на основі інформації, що надходить від органів управління ОР. Виконання особами, відповідальними за узагальнення досвіду в органі управління стратегічного рівня, набору функцій, що забезпечують збирання, накопичення, систематизацію та безпосередньо узагальнення отриманого досвіду. Рішення про узагальнення досвіду приймається за мажоритарним принципом. Наприклад за кількістю ОК може бути використане правило {4 із 6}. Рішення на розповсюдження узагальненого досвіду приймає визначена особа. На кожному рівні САУВД рішення по отриманому узагальненому досвіду з нижнього рівня приймається за мажоритарним принципом.

Для обґрунтування аналітичних виразів для визначення показників ефективності необхідно врахувати всі можливі варіанти реакції органів управління різних рівнів на отримання узагальненого досвіду. Реакція починається від отримання досвіду

(прийняття узагальненого досвіду від підпорядкованих підрозділів) і закінчується під час відправлення відповідної інформації вищому органу управління (прийняття рішення на впровадження узагальненого досвіду).

Реакцію складових САУВД можна представити наступними подіями:

події для військових частин:

– досвід отримано та узагальнено j -ю в/ч – A_1^j ;

– досвід отримано, але не узагальнено j -ю в/ч – B_1^j ;

– досвід не отримано j -ю в/ч – B_1^j .

Для випадку, коли таких в/ч три, отримаємо наступні позначення: $A_1^1, B_1^1, B_1^1, A_1^2, B_1^2, B_1^2, A_1^3, B_1^3, B_1^3$.

В схемі реалізації мажоритарного принципу прийняття рішення про узагальнений досвід за правилом {2 із 3} властиві наступні події:

– досвід отримано та узагальнено j -ю в/ч – M_j^a ;

– досвід отримано, але не узагальнено j -ю в/ч – M_j^b ;

– досвід не отримано j -ю в/ч – M_j^c .

події для оперативного рівня:

– досвід отримано та узагальнено k -м ОК – A_2^k ;

– досвід отримано, але не узагальнено k -м ОК – B_2^k ;

– досвід не отримано k -м ОК – B_2^k .

Наприклад, якщо таких ОК три, отримаємо наступні позначення: $A_2^1, B_2^1, B_2^1, A_2^2, B_2^2, B_2^2, A_2^3, B_2^3, B_2^3$.

Для роботи схеми реалізації мажоритарного принципу властиві події:

– досвід отримано та узагальнено k -м ОК – M_k^a ;

– досвід отримано, але не узагальнено k -м ОК – M_k^b ;

– досвід не отримано k -м ОК – M_k^c .

Процес узагальнення досвіду передбачає, що рішення приймається після оброблення інформації із узагальненим досвідом на кожному з представлених вище рівнях. На кожному рівні рішення про узагальнення досвіду приймається за мажоритарним принципом та, приймаючи до уваги описані вище процедури, можливі наступні результати роботи САУВД:

– досвід узагальнений;

– продовження узагальнення досвіду;

– досвід не отриманий.

Розгляд варіантів подій для кожного рівня САУВД дає змогу сформувати аналітичні вирази для визначення значень показників її ефективності.

Показник "Досвід узагальнений" (P_{ex}) – це ймовірність того, що органом управління

стратегічного рівня від ОК прийнята інформація із узагальненим досвідом достатня для прийняття рішення за мажоритарним принципом або відбулась подія, яка полягає в тому, що хоча б одна в/ч в ОК успішно узагальнила досвід. Цей показник будемо представляти сумою умовних ймовірностей

$$P_{ex} = \sum_i p_i^A, \quad (1)$$

де p_i^A – умовна ймовірність успішного узагальнення досвіду в i -му варіанті подій.

Показники "Продовження узагальнення досвіду" та "Досвід не отриманий" представляються до показника "Досвід узагальнений" аналогічним чином. Зауважимо, що сформовані умовні ймовірності є апостеріорними ймовірностями, на що треба звернути увагу під час вибору типу математичної моделі процесу узагальнення досвіду.

В подальшому для розроблення структурно-автоматної моделі реакції органу управління на отриманий досвід необхідно розробити опорний граф станів та переходів [13, 17]. Для розроблення опорного графа необхідно обрати актуальні показники функціональності складових САУВД та визначити базові події, які представляють усі процеси й процедури, закладені в алгоритм її поведінки, а також показати зовнішні і внутрішні процеси, з якими взаємодіє САУВД протягом часу виконання завдання. Необхідно також обґрунтувати компоненти вектора стану, який представлятиме зміну станів у реакції САУВД.

Для відображення процесу узагальнення досвіду на різних рівнях сформований перелік показників функціональності складових САУВД та середні значення інтервалів часу, що його визначають. Ці функціональні та часові показники представлено в розробленій моделі реакції САУВД для варіанта, коли до системи узагальнення входять три військові частини та три ОК:

P_{det} – ймовірність ідентифікації досвіду;

P_{id} – ймовірність успішного узагальнення досвіду відповідним органом управління;

P_d – ймовірність доставлення інформації із узагальненим досвідом;

T_{ss1} – середнє значення інтервалу часу від моменту надходження узагальненого досвіду від підрозділів до органу управління 1-ї в/ч до моменту завершення його узагальнення;

T_{ss2} – середнє значення інтервалу часу від моменту надходження узагальненого досвіду від підрозділів до органу управління 2-ї в/ч до моменту завершення його узагальнення;

T_{ss3} – середнє значення інтервалу часу від моменту надходження узагальненого досвіду від підрозділів до органу управління 3-ї в/ч до моменту завершення його узагальнення;

T_{ss4} – середнє значення інтервалу часу від моменту надходження узагальненого досвіду від органу управління в/ч до органу управління 1-го ОК до моменту завершення його узагальнення;

T_{ss5} – середнє значення інтервалу часу від моменту надходження узагальненого досвіду від органу управління в/ч до органу управління 2-го ОК до моменту завершення його узагальнення;

T_{ss6} – середнє значення інтервалу часу від моменту надходження узагальненого досвіду від органу управління в/ч до органу управління 3-го ОК до моменту завершення його узагальнення.

Згідно з процедурами, які виконуються САУВД, складається перелік подій. Події потрібно відображати попарно, фіксуючи початок і закінчення відповідної процедури (табл. 1).

Таблиця 1

Пари подій, які фіксують початок і закінчення процедур, що формують реакцію САУВД під час узагальнення досвіду

№ з/п	Подія-початок	Подія-закінчення (базова подія – БП; зведена базова подія – ЗвБП)	Середні значення тривалостей процедур	Інтенсивності переходів із стану в стан
1.	Початок збору досвіду у 1-й в/ч	БП1: завершення збору досвіду від підрозділів у 1-й в/ч	T_{ss1}	$\lambda = \frac{1}{T_{ss1}}$
2.	Початок процедури систематизації досвіду у 1-й в/ч	ЗвБП 2: Закінчення процедури систематизації досвіду у 1-й в/ч	$t_{r1} \ll T_{ss1}$	$\lambda_{r1} = \frac{1}{t_{r1}} \approx 0$
3.	Початок процедури доставлення інформації з досвідом до ОУ ОК від 1-ї в/ч	ЗвБП 3: Закінчення процедури доставлення інформації із узагальненим досвідом від 1-ї в/ч	$t_{d1} \ll T_{ss1}$	$\lambda_{d1} = \frac{1}{t_{d1}} \approx 0$
4.	В 1-й в/ч завершено збір досвіду, початок збору досвіду у 2-й в/ч	БП 4: Закінчення збору досвіду від підрозділів у 2-й в/ч	T_{ss2}	$\lambda_2 = \frac{1}{T_{ss2}}$
...
18.	Початок процедури систематизації досвіду	ЗвБП 18: Закінчення процедури систематизації досвіду	$t_{r6} \ll T_{ss6}$	$\lambda_{r6} = \frac{1}{t_{r6}} \approx 0$
19.	Початок процедури доставлення інформації з досвідом до ОУ стратегічного рівня	ЗвБП 19: Закінчення процедури доставлення інформації із узагальненим досвідом до органу управління стратегічного рівня	$t_{d6} \ll T_{ss6}$	$\lambda_{d6} = \frac{1}{t_{d6}} \approx 0$
20.	Початок процедури прийняття рішення на узагальнення досвіду ОУ стратегічного рівня за мажоритарним принципом	ЗвБП 20: Закінчення процедури прийняття рішення (MVE2)	$t_{MVE2} \ll T_{ss4,ss5,ss6}$	$\lambda_{MVE2} = \frac{1}{t_{MVE2}} \approx 0$

На рис. 1 представлений фрагмент графа станів та переходів, на якому показані всі реакції органів управління тактичного, оперативного та стратегічного рівнів на отримання узагальненого досвіду.

Компоненти вектора стану для моделі реакції САУВД на отримання узагальненого досвіду показують можливу реакцію органів управління різних рівнів. Так, компоненти вектора стану V1, V2, V3 показують можливу реакцію відповідно 1, 2 та 3-ї в/ч після базових подій (БП):

БП1, з урахуванням зведених базових подій 2 (ЗвБП2) та ЗвБП3 – для компоненти V1;

БП4, з урахуванням ЗвБП5 та ЗвБП6 – для компоненти V2;

БП7, з урахуванням ЗвБП8, ЗвБП9 та ЗвБП10 – для компоненти V3:

Значення компонент V1, V2, V3 залежать від ймовірностей ідентифікації досвіду відповідними в/ч, успішного узагальнення досвіду та передавання інформації до ОК.

Компоненти вектора стану V5, V6, V7 показують можливу реакцію відповідно 1, 2 та 3-го ОК після БП:

БП11, з урахуванням ЗвБП12 та ЗвБП13 – для компоненти V5;

БП14, з урахуванням ЗвБП15 та ЗвБП16 – для компоненти V6;

БП17, з урахуванням ЗвБП18, ЗвБП19 та ЗвБП20 – для компоненти V7:

Значення компонент V5, V6, V7 залежать від ймовірностей ідентифікації досвіду відповідними органами управління ОК, успішного узагальнення досвіду та передавання інформації про нього до органів управління стратегічного рівня.

Компоненти V4 та V8 характеризують стан САУВД, що залежить від рішення, яке приймається органом управління оперативного та стратегічного рівнів (див. табл. 1).

Дискретно-неперервна стохастична модель функціонування САУВД застосування військ розробляється за технологією [20].

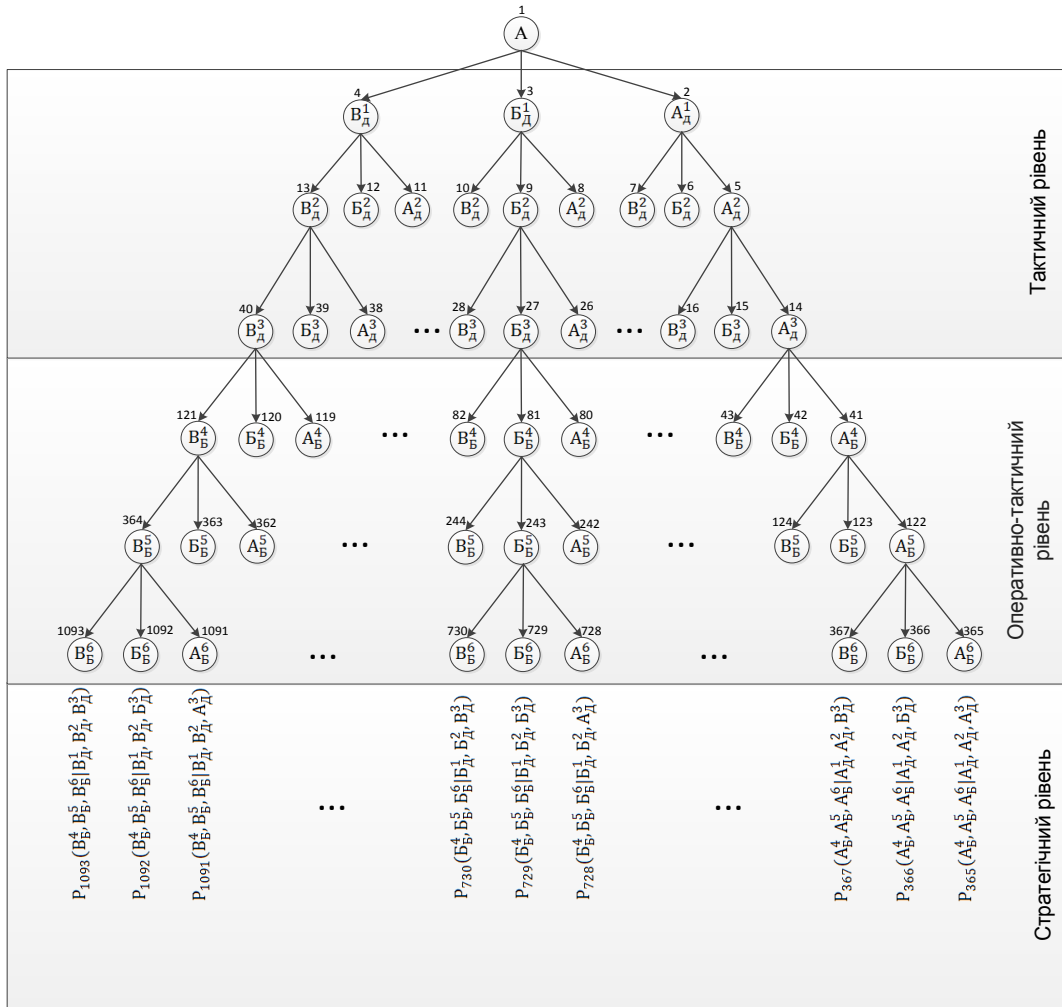


Рис.1. Граф варіантів реакції САУВД на отримання узагальненого досвіду

На основі базових подій та компонент вектора стану розроблено опорний граф станів та переходів. Опорний граф станів та переходів дає змогу визначити компоненти структурно-автоматної моделі (САМ), а саме логічні вирази опису ситуацій, в яких відбуваються базові події, формули для розрахунку інтенсивностей переходу (ФРІП) та правила модифікації компонент вектора стану (ПМКВС).

Поєднання САМ і уніфікованого програмного модуля ASNA утворює програмну стохастичну модель САУВД. Програмна стохастична модель забезпечує автоматизацію процесу визначення показників ефективності САУВД. Розроблена САМ подана в таблиці 2. Відповідальним етапом розроблення САМ є її верифікація.

Таблиця 2

Структурно-автоматна модель реакції САУВД на отримання узагальненого досвіду

Опис ситуацій, в яких відбуваються базова подія	ФРІП	ПМКВС
БП1 (ЗвБП2, ЗвБП3)		
1) (V1=0) AND (V2=0) AND (V3=0) AND (V4=0) AND (V5=0) AND (V6=0) AND (V7=0) AND (V8=0)	$\lambda_1 \cdot P_{det} \cdot P_{id}$	V1:=1
	$\lambda_1 \cdot P_{det} \cdot (1 - P_{id})$	V1:=2
	$\lambda_1 \cdot (1 - P_{det})$	V1:=3
...
БП17 (ЗвБП18, ЗвБП19, ЗвБП20)		
1) (V4>0) AND (V5=1) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0)	$\lambda_6 \cdot P_{det} \cdot P_{id}$	V7:=1, V8:=1
	$\lambda_6 \cdot P_{det} \cdot (1 - P_{id})$	V7:=2, V8:=1
	$\lambda_6 \cdot (1 - P_{det})$	V7:=3, V8:=1
...
9) (V4>0) AND (V5=3) AND (V6=3) AND (V7=0) AND (V8=0)	$\lambda_6 \cdot P_{det} \cdot P_{id}$	V7:=1, V8:=1
	$\lambda_6 \cdot P_{det} \cdot (1 - P_{id})$	V7:=2, V8:=2
	$\lambda_6 \cdot (1 - P_{det})$	V7:=3, V8:=4

Верифікація САМ проводиться для виявлення помилок, які можуть бути внесені до неї під час її розроблення, шляхом порівняння двох графів станів і переходів. Перший – отриманий на основі САМ від програмної стохастичної моделі, а другий – тестовий граф. В якості тестового графа в процедурі верифікації використовується опорний граф станів, на основі якого визначались компоненти САМ. Верифікація САМ вважається завершеною тоді,

коли граф отриманий на основі САМ, співпадає з тестовим графом. Дискретно-неперервна стохастична модель реакції САУВД на отримання узагальненого досвіду та мажоритарним принципом прийняття рішення зображена у вигляді системи лінійних однорідних диференціальних рівнянь першого порядку [18, 19]. Модель формується згідно з графом станів і переходів, який має розмірність 1093 стани:

$$\begin{aligned}
 \frac{dQ_1(t)}{dt} &= -(\lambda_1 P_{det} P_{id} + \lambda_1 P_{det} (I - P_{id}) + \lambda_1 (I - P_{det})) Q_1(t); \\
 \frac{dQ_2(t)}{dt} &= \lambda_1 P_{det} P_{id} Q_1(t) - (\lambda_2 P_{det} P_{id} + \lambda_2 P_{det} P_{id} + \lambda_2 (I - P_{det})) Q_2(t); \\
 \frac{dQ_3(t)}{dt} &= \lambda_1 P_{det} (I - P_{id}) Q_1(t) - (\lambda_2 P_{det} P_{id} + \lambda_2 P_{det} P_{id} + \lambda_2 (I - P_{det})) Q_3(t); \\
 \frac{dQ_4(t)}{dt} &= \lambda_1 (I - P_{det}) Q_1(t) - (\lambda_2 P_{det} P_{id} + \lambda_2 P_{det} P_{id} + \lambda_2 (I - P_{det})) Q_4(t); \\
 \frac{dQ_5(t)}{dt} &= \lambda_2 P_{det} P_{id} Q_2(t) - (\lambda_3 P_{det} P_{id} + \lambda_3 P_{det} P_{id} + \lambda_3 (I - P_{det})) Q_5(t); \\
 &\dots\dots\dots \\
 \frac{dQ_{13}(t)}{dt} &= \lambda_2 (I - P_{det}) Q_4(t) - (\lambda_3 P_{det} P_{id} + \lambda_3 P_{det} P_{id} + \lambda_3 (I - P_{det})) Q_{13}(t); \\
 \frac{dQ_{14}(t)}{dt} &= \lambda_3 P_{det} P_{id} Q_5(t) - (\lambda_4 P_{det} P_{id} + \lambda_4 P_{det} (I - P_{id}) + \lambda_4 (I - P_{det})) Q_{14}(t); \\
 &\dots\dots\dots \\
 \frac{dQ_{39}(t)}{dt} &= \lambda_3 P_{det} P_{id} Q_{13}(t) - (\lambda_4 P_{det} P_{id} + \lambda_4 P_{det} (I - P_{id}) + \lambda_4 (I - P_{det})) Q_{39}(t); \\
 \frac{dQ_{40}(t)}{dt} &= \lambda_4 P_{det} P_{id} Q_{14}(t) - (\lambda_5 P_{det} P_{id} + \lambda_5 P_{det} (I - P_{id}) + \lambda_5 (I - P_{det})) Q_{40}(t); \\
 &\dots\dots\dots \\
 \frac{dQ_{121}(t)}{dt} &= \lambda_4 P_{det} P_{id} Q_{40}(t) - (\lambda_5 P_{det} P_{id} + \lambda_5 P_{det} (I - P_{id}) + \lambda_5 (I - P_{det})) Q_{121}(t); \\
 \frac{dQ_{122}(t)}{dt} &= \lambda_5 P_{det} P_{id} Q_{41}(t) - (\lambda_6 P_{det} P_{id} + \lambda_6 P_{det} (I - P_{id}) + \lambda_6 (I - P_{det})) Q_{122}(t); \\
 &\dots\dots\dots \\
 \frac{dQ_{364}(t)}{dt} &= \lambda_5 P_{det} P_{id} Q_{121}(t) - (\lambda_6 P_{det} P_{id} + \lambda_6 P_{det} (I - P_{id}) + \lambda_6 (I - P_{det})) Q_{364}(t); \\
 \frac{dQ_{365}(t)}{dt} &= \lambda_6 P_{det} (I - P_{id}) Q_{365}(t); \\
 &\dots\dots\dots \\
 \frac{dQ_{1093}(t)}{dt} &= \lambda_6 (I - P_{det}) Q_{1093}(t),
 \end{aligned} \tag{2}$$

де $Q_i(t)$ – ймовірність перебування в i -му стані графа;

λ_i – інтенсивність переходу із i -го стану графа.

Представлена дискретно-неперервна модель (2) дає змогу розрахувати значення показників ефективності перспективної САУВД застосування військ (сил).

Експериментальні дослідження залежності трьох, представлених вище, показників ефективності САУВД

від значень показників функціональності її складових.

1. Дослідження залежності значень ймовірності того, що в результаті роботи САУВД отриманий досвід був узагальнений P_{ex} від зростання значень ймовірності ідентифікації досвіду P_{det} та ймовірності успішного узагальнення досвіду P_{id} . На рис. 2 представлена залежність, отримана за допомогою розробленої моделі.

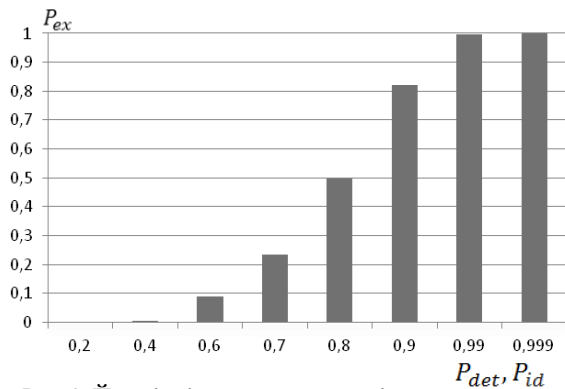


Рис. 2. Ймовірність того, що досвід узагальнений

2. Дослідження залежності значень ймовірності того, що отриманий досвід потребує подальшого узагальнення $P_{ex.p}$ від зростання значень ймовірності ідентифікації досвіду P_{det} і ймовірності успішного узагальнення досвіду P_{id} (рис. 3).

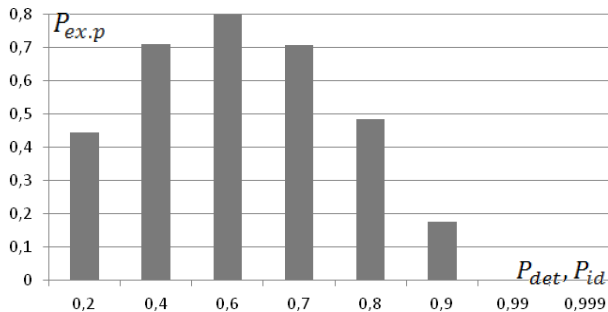


Рис. 3. Ймовірності того, що отриманий досвід потребує подальшого узагальнення

3. Дослідження № 3 залежності значень ймовірності того, що досвід не отриманий $P_{ex.n}$ від зростання значень ймовірності ідентифікації досвіду P_{det} і ймовірності успішного узагальнення досвіду P_{id} (рис. 4).

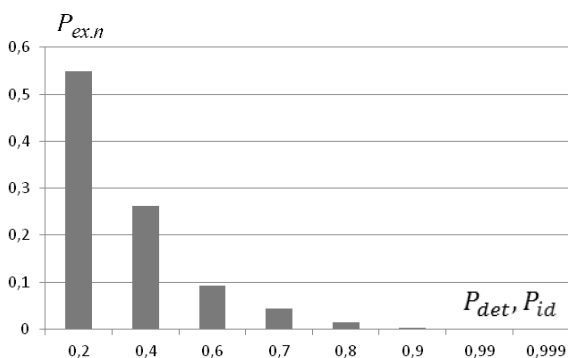


Рис. 4. Ймовірності того, що досвід не отриманий

Висновки

Важливим питанням функціонування САУВД є побудова їх математичних моделей, які дозволяють проводити її дослідження та оцінку ефективності в різних умовах.

1. Подано обґрунтування та визначені складові для кожного з трьох показників ефективності, що

відтворюють відповідні реакції САУВД на отримання узагальненого досвіду. Показано зв'язок цих складових з математичною моделлю реакції САУВД.

2. Розроблена дискретно-неперервна стохастична модель реакції САУВД для дослідження ефективності перспективної САУВД для різних варіантів її реалізації. Ступінь адекватності розробленої моделі визначається врахуванням дев'яти показників функціональності складових системи та представленням вектора стану вісьмома компонентами. Запропонована модель відтворює всі можливі варіанти реакції САУВД.

3. Для виконання необхідних розрахунків сформована система диференціальних рівнянь Колмогорова-Чепмена першого порядку, розв'язання якої дає змогу отримати значення показників ефективності САУВД.

4. Розрахунки проведені для САУВД, до складу якої включені органи управління трьох військових частин та трьох ОК, із прийняттям рішення про узагальнення досвіду за мажоритарним правилом {2 із 3} показують, що:

- прийнятні значення показника ефективності "Досвід узагальнений" досягаються при значеннях ймовірності ідентифікації досвіду та ймовірності успішного узагальнення досвіду органом управління не менше ніж 0,9;

- при значеннях ймовірності ідентифікації досвіду та ймовірності успішного узагальнення досвіду органом управління в інтервалі від 0,4 до 0,7 із ймовірністю не менше ніж 0,7 необхідно буде продовжувати накопичувати узагальнений досвід для прийняття рішення про його розповсюдження;

- значення ймовірності ідентифікації досвіду та ймовірності успішного узагальнення досвіду органом управління в інтервалі від 0,2 до 0,6 є не прийнятними для організації процесу узагальнення досвіду за розробленою САУВД.

Список літератури

1. Пашковський В. В. Аналіз системи узагальнення досвіду підготовки та застосування ЗС України та провідних країн світу. *Збірник наукових праць ХУПС*. Харків: ХУПС, 2015. № 4 (45). С. 16-32.
2. Воробйов Г. П., Думанський Ю. А., Грабчак В. І. та ін. Бойова підготовка Сухопутних військ Збройних Сил України: теорія і практика: монографія. Львів: АСВ, 2013. 249 с.
3. Система узагальнення досвіду підготовки та застосування Сухопутних військ в умовах функціонування Збройних сил України в особливий період: звіт про НДР за шифром "ДОСВІД" (заклучний) / кер. В.В. Пашковський. № держ. реєстрації 0101u001887. Львів: НАСВ, 2015. 112 с.
4. Joint Analysis Handbook. NATO Joint Analysis and Lessons Learned Centre. 4th Edition February. 2016.
5. Вагнер Г. Основы исследования операций. Москва: Мир, 1972. Т. 1. 335 с.

6. Городнов В. П., Дробаха Г. А., Єрмошин М. О. та ін. Моделювання бойових дій військ (сил) протиповітряної оборони та інформаційне забезпечення процесів управління ними (теорія, практика, історія розвитку): монографія. Харків: ХВУ, 2004. 409 с.
7. Чуев Ю. В. Исследование операций в военном деле. Москва: Воениздат, 1970. 256 с.
8. Пермяков О. Ю. Шляхи інтегрування імітаційного моделювання у процес оперативної і бойової підготовки Збройних Сил України. *Доповідь на кафедрі інформатизації штабів*. Київ: НУОУ, 2006. С. 17-22.
9. Буянов Б. Б., Лубков Н. В., Поляк Г. Л. Система поддержки принятия управленческих решений с применением имитационного моделирования. *Проблемы управления*. 2006. № 6. С. 43–49.
10. Кини Р., Райфа Х. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения / пер. с англ. Москва: Радио и связь, 1981. 560 с.
11. Губко М. В., Новиков Д. А. Теория игр в управлении организационными системами, 2-е изд. Москва: Синтез, 2005. 136 с.
12. Myerson R.B. Game Theory: Analysis of Conflict. London: *Harvard University Press*, 1991. 568 p.
13. Айзерман М. А., Алескеров Ф. Т. Выбор вариантов. Основы теории. Москва: Наука, 1990. 240 с.
14. Краснощеков П. С., Петров А. А. Принципы построения моделей. Москва: Изд-во МГУ, 1983. 264 с.
15. Dupuy T. Understanding War. History and Theory of Combat. 2nd ed. Nova Publishers, 1998. 312 p.
16. Грабчак В. І., Супрун В. М., Заскока А. М. Аналітична модель бою між протидіючими угрупованнями. *Військово-технічний збірник*. Львів: АСВ. 2012. Вип. 1. (6). С. 110-120. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.6.2012.110-120>
17. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. Москва: Советское радио, 1993. 278 с.
18. Ситник В. Ф. Системи підтримки прийняття рішень. Київ: КНЕУ, 2009. 614 с.
19. Сорока К. О. Основы теории систем і системного аналізу. Харків: ХНАМГ, 2004. 291 с.
20. Волочій Б. Ю. Технология моделирования алгоритмов поведінки інформаційних систем. Львів, НУ "ЛП", 2004. 220 с.
- of the experience of training and application of the Land Forces in the functioning of the Armed Forces of Ukraine in a special period: Report on research under the code "EXPERIENCE" (final)]. NASV, Lviv, № state. registration 0101u001887, 112 p. [in Ukrainian].
4. Joint Analysis Handbook. NATO Joint Analysis and Lessons Learned Centre. 4th Edition February, 2016.
5. Vagner G. (1972), "*Osnovy issledovaniya operatsiy*" [Fundamentals of operations research]. Mir, Moskva, Vol. 1. 335 p. [in Russian].
6. Horodnov V.P., Drobakha H.A., Yermoshyn M.O. and others (2004), "*Modelyuvannya boyovykh diy viys'k (syl) protypovitryanoyi oborony ta informatsiyne zabezpechennya protsesiv upravlinnya nymy (teoriya, praktyka, istoriya rozvytku): monohrafiya*" [Modeling of combat operations of troops (forces) of air defense and information support of their management processes (theory, practice, history of development): monograph]. KhVU, Kharkov, 409 p. [in Ukrainian].
7. Chuyev Yu.V. (1970), "*Issledovaniye operatsiy v voyennom dele*" [Operations research in military affairs]. Military Publishing, Moscow, 256 p. [in Russian].
8. Permyakov O.YU. (2006), "*Shlyakhy intehruvannya imitatsiyneho modelyuvannya u protsess operatyvnoyi i boyovoyi pidhotovky Zbroynykh Syl Ukrayiny*" [Ways of integrating simulation modeling into the process of operational and combat training of the Armed Forces of Ukraine]. *Report at the Department of Staff Informatization*, NUDU, Kyiv. pp. 17–22. [in Ukrainian].
9. Buyanov B.B., Lubkov N.V. and Polyak G.L. (2006), "*Sistema podderzhki prinyatiya upravlencheskikh resheniy s primeneniym imitatsionnogo modelirovaniya*" [Management decision support system using simulation]. *Control problems*. Issue № 6. pp. 43–49. [in Russian].
10. Keene R. and Rife H. (1981), "*Prinyatiye resheniy pri mnogikh kriteriyakh: predpochteniya i zameshcheniya*" [Multi-Criteria Decision Making: Preferences and Substitutions]. Translated from English. Radio i svyaz', Moskva, 560 p. [in Russian].
11. Gubko M.V. and Novikov D.A. (2005), "*Teoriya igr v upravlenii organizatsionnymi sistemami, 2-ye izd.*" [Game theory in the management of organizational systems, 2nd ed.], *Sintez*, Moskva, 136 p. [in Russian].
12. Myerson R.B. (1991), *Game Theory: Analysis of Conflict*. London: *Harvard University Press*. 568 p.
13. Ayzerman M.A. and Aleskerov F.T (1990), "*Vybor variantov. Osnovy teorii*" [Choice of options. Fundamentals of the theory]. Nauka, Moskva, 240 p. [in Russian].
14. Krasnoshchekov P.S. (1983), "*Printsipy postroyeniya modeley*" [Principles of building models]. Izd-vo MGU, Moskva, 264 p. [in Russian].
15. Dupuy T. (1998), *Understanding War. History and Theory of Combat*. 2nd ed. Nova Publishers, 1998. 312 p. [in English].
16. Hrabchak V.I., Suprun V.M. and Zaskoka A.M. (2012), "*Analitychna model' boyu mizh protydiyuchymy uhrupuvannymy*" [Analytical model of the battle between opposing groups], *Military-technical collection*, ASV, L'viv Issue № 1. (6), pp. 110-120. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.6.2012.110-120> [in Ukrainian].
17. Saati T. (1993), "*Prinyatiye resheniy. Metod analiza iyerarkhiy*" [Making decisions. Hierarchy analysis method]. Sovetskoye radio, Moskva, 278 p. [in Russian].
18. Sytnyk V.F. (2009), "*Sistemy pidtrymky pryynyattya rishen'*" [Decision support systems]. KNEU, Kiev, 614 p. [in Ukrainian].

References

1. Pashkovs'kyu V.V. (2015), "Analiz systemy uzahal'nennya dosvidu pidhotovky ta zastosuvannya ZS Ukrayiny ta providnykh krainin svitu" [Analysis of the system of generalization of the experience of preparation and application of the Armed Forces of Ukraine and leading countries of the world]. *Collection of scientific works of KUAF*. KHUPS, Kharkov. Issue № 4 (45). pp. 16–32. [in Ukrainian].
2. Vorobyov H.P., Dumans'kyu Yu.A., Hrabchak V.I. and others (2013), "*Boyova pidhotovka Sukhoputnykh viys'k Zbroynykh Syl Ukrayiny: teoriya i praktyka: monohrafiya*" [Combat training of the Land Forces of the Armed Forces of Ukraine: theory and practice: monograph]. ASV, L'viv, 249 p. [in Ukrainian].
3. Pashkovs'kyu V.V. ed. (2015), "*Systema uzahal'nennya dosvidu pidhotovky ta zastosuvannya Sukhoputnykh viys'k v umovakh funktsionuvannya Zbroynykh syl Ukrayiny v osoblyvyi period: NDR DOSVID (zaklychni)*" [The system of generalization

19. Soroka K.O. (2004), "Osnovy teorii system i systemnoho analizu" [Fundamentals of systems theory and systems analysis]. KhNAMG, Kharkov, 291 p. [in Ukrainian].
20. Volochii B. "Tekhnolohiia modeliuвання alhorytmiv povedinky informatsiinykh system" [Technological modeling of algorithms of behavior of information systems]. Lviv, NU "LP", 2004. 220 c. [in Ukrainian].

Дискретно-непрерывная стохастическая модель функционирования системы анализа, обобщения и внедрения опыта применения войск (сил)

В.И. Грабчак, Ю.П. Сальник, Б.Ю. Волочий

В статье представлено теоретическое обобщение практических вопросов повышения эффективности подготовки и применения войск (сил) путем усовершенствования системы анализа, обобщения и внедрения боевого опыта (САОВО) и по-новому решена актуальная научная задача, состоящая в усовершенствовании научно-методического аппарата ее функционирования. Проведен анализ математических моделей описания и оценки функционирования системы подготовки и применения войск (сил). В то же время, результаты исследований на учениях и других мероприятиях оперативной, боевой подготовки и повседневной деятельности войск (сил) показали отсутствие эффективных математических моделей функционирования САОВО войск (сил). Обоснованы и определены составляющие для каждого из трех показателей эффективности, которые воспроизводят соответствующие реакции САОВО на получение обобщенного опыта. Показана связь этих составляющих с требованиями к математической модели реакции САОВО. Разработана дискретно-непрерывная стохастическая модель реакции САОВО для исследования эффективности перспективной САОВО для различных вариантов ее реализации. Сформирована система дифференциальных уравнений Колмогорова-Чепмена первого порядка, решение которой дает возможность получить значения показателей эффективности САОВО. Проведенные расчеты для САОВО, к составу которой включены органы управления трех в/ч и трех ОК, с принятием решения о обобщении опыта за мажоритарным принципом {2 из 3} показывают: приемлемые значения показателя эффективности "Опыт обобщен" достигаются при значениях вероятности идентификации опыта и вероятности успешного обобщения опыта органом управления не меньше чем 0,9; при значениях вероятности идентификации опыта и вероятности успешного обобщения опыта органом управления в интервале от 0,4 до 0,7 с вероятностью не меньше чем 0,7, необходимо будет продолжать накапливать обобщенный опыт для принятия решения на его распространение; соответственно значение в интервале от 0,2 до 0,6, является неприемлемым для организации процесса обобщения опыта за разработанной САОВО.

Ключевые слова: система анализа, обобщение и внедрение опыта, дискретно-непрерывная стохастическая модель, уравнение Колмогорова-Чепмена, показатели эффективности, вектор состояния, мажоритарный принцип, базовые события, органы управления.

A DISCRETE-CONTINUOUS STOCHASTIC MODEL FUNCTIONING OF ANALYSIS SYSTEM, GENERALIZATION AND IMPLEMENTATION OF EXPERIENCE IN THE USE OF TROOPS (ARMED FORCES)

V. Hrabchak, Y. Salnyk, B. Volochii

In article presented theoretic generalization practical efficiency issues training and deployment of troops (armed forces) by improving the analysis system, generalization and implementation of combat experience (ASGIE) and an actual scientific problem was solved in a new way, consisting in the improvement of the scientific and methodological apparatus of its functioning. Performed analysis mathematical models for descriptions and assessment functioning system of training and use of troops (armed forces). In the same time, the results of researches in exercises and other activities of operational, combat training and daily activities of troops (armed forces) showed the absence of effective mathematical models for the functioning of ASGIE of troops (armed forces). The constituents for each of the three performance indicators have been substantiated and determined, which reproduce the corresponding reactions of the ASGIE to obtain a generalized experience. The connection of these constituents with the requirements for the mathematical model of the reaction of the ASGIE is shown. A discrete-continuous stochastic model of the ASGIE reaction has been developed to study the effectiveness of a promising ASGIE for various options for its implementation. A system of Kolmogorov-Chapman differential equations of the first order has been formed, the solution of which gives the opportunity to get the value of performance indicators ASGIE. Calculations performed for ASGI which includes the governing bodies of three military units and three OC with decision-making on the generalization of experience for the majority principle "2 with 3" show: acceptable values of the performance indicator "Experience is generalized" are achieved when the values of the probability of identifying experience and the probability of successful generalization of experience by the management body are greater than 0.9; with the values of the probability of experience identification and the probability of successful generalization of experience by the governing bodies in the range from 0.4 to 0.7 with a probability of not less than 0.7, it will be necessary to continue to accumulate generalized experience in order to make a decision on its dissemination; accordingly, a value in the range from 0.2 to 0.6 is unacceptable for organizing the process of generalizing experience for the developed ASGI.

Keywords: analysis system, generalization and implementation of experience, discrete-continuous stochastic model, Kolmogorov-Chapman equation, performance indicators, state vector, majority principle, basic events, controls.