

## МОДЕЛЬ СИСТЕМИ ВІЙСЬКОВОЇ ОСВІТИ НА ОСНОВІ ЛАНЦЮГА МАРКОВА

Підготовка військових кадрів сил оборони з використанням уроків здобутих під час відсічі збройній агресії російської федерації, методики підготовки, принципів і стандартів НАТО є одним із завдань розвитку військової освіти. Розвиток системи військової освіти передбачає системні зміни та управління змінами. Прогнозування можливих ефектів, отриманих внаслідок впровадження змін, вимагає побудови моделі системи військової освіти. Метою статті є розроблення моделі системи військової освіти для прогнозування ефектів, отриманих внаслідок впровадження змін у процесах її розвитку. У статті застосовано метод оцінювання спільних спроможностей системи військової освіти. Процес формування спроможностей системи військової освіти подано абстрактною моделлю, що відображає сукупність елементів системи та складників її спроможностей. Складові системи військової освіти розподілені за трьома рівнями ієрархії: державний, відомчий та інституційний. Автор пропонує стратегічну мету та окремі цілі розвитку системи військової освіти здійснити за таксономічною моделлю «дерева цілей». Також, за підходами прийнятими у теорії ймовірності та рівномірної шкали оцінювання ймовірності настання випадкової події, запропоновано «модель ABCD» для опису критеріїв визначення рівня відповідності складових спроможностей системи військової освіти. Для оцінювання стану елементів спроможностей системи використано ланцюг Маркова з дискретним станом та дискретним часом. Описано матрицю вектору переходу елементу спроможності на кожному кроці зміни з урахуванням ймовірностей переходу елементу спроможностей з одного стану в інший через впровадження певної зміни. Модель дає змогу прогнозувати отримані ефекти внаслідок запроваджених змін та стан елемента спроможності у процесах розвитку системи військової освіти.

**Ключові слова:** модель, спроможності, система військової освіти, ланцюг Маркова.

### Вступ

Розвиток сектору безпеки і оборони та нарощування спроможностей сил оборони за нормами, принципами й стандартами НАТО, що були закріплені рішеннями Ради національної безпеки і оборони України [1; 2] набули більшої актуальності під час відсічі збройній агресії російської федерації.

Системи протиповітряної оборони, авіаційні, ракетні та артилерійські системи, бойові броньовані машини й інше озброєння у поєднанні з автоматизацією процесів розвідки та ураження противника, змінюють тактику дій, процеси і процедури планування, стратегію досягнення цілей у протистоянні з агресором, визначають об'єктивну необхідність оновлення процедур ухвалення військових рішень, розвідки, об'єднаної вогневої підтримки, логістики та інших сфер діяльності відповідно до стандартів НАТО. Це все обумовлює потребу розвитку системи підготовки військових кадрів в інтересах сил оборони.

Підготовка військових кадрів для сил оборони здійснюється в системі військової освіти, яка з одного боку, є складником системи освіти держави, з іншого – перебуває на шляху професіоналізації, приведення її структури і змісту до стандартів, підходів та принципів, що впроваджені у країнах – членах НАТО. Такий напрям закріплено в

Концепції трансформації системи військової освіти [3].

**Постановка проблеми.** Система військової освіти (далі – СВО) є складником спеціалізованої освіти військового профілю, призначена для підготовки військових кадрів сектору безпеки і оборони та являє собою сукупність рівнів і ступенів освіти, кваліфікацій, освітніх програм, стандартів освіти, ліцензійних умов, військових закладів освіти та інших суб'єктів освітньої діяльності, учасників освітнього процесу, державних органів та органів військового управління сектору безпеки і оборони, а також нормативно-правових актів, що регулюють відносини між ними [4].

Система військової освіти охоплює різні складові, розподілені за рівнями. Елементи СВО об'єднані зв'язками та залежні один від одного. СВО становить єдність закономірно розташованих і взаємопов'язаних складових елементів, компонентів та підсистем, що дає можливість стверджувати, що вона є складною системою.

Завдання розвитку СВО орієнтовані на отримання кінцевого продукту, а саме вмотивованого та професійного персоналу сил оборони. Для досягнення цього відбуватимуться організаційні та системні зміни СВО.

Реалізація концептуальних засад розвитку СВО тісно пов'язана з управлінням змінами, що є сукупністю процесів впливу керуючої системи на

організацію через зміни у внутрішньому та зовнішньому середовищі, корегуванням діяльності, оновлення структур, пошуком нових можливостей відповідно до вимог та запитів [5]. Водночас СВО виконує завдання підготовки військових кадрів відповідно до сучасних вимог, адже зміни та результати таких змін мають відповідати стратегічній меті розвитку СВО. Отже, для чіткого розуміння побудови СВО та подальшого оцінювання результатів її розвитку необхідно усвідомити систему в цілому, виділити її елементи і зв'язки між ними. Це дає можливість прогнозувати заплановані зміни та очікувані ефекти (наслідки) впровадження змін. Таке усвідомлення є можливим завдяки побудові моделі СВО.

Відомо, що моделювання, як метод наукового пізнання, дає змогу відтворити об'єкт дослідження. Воно широко використовується в дослідженні систем різної природи, але особливого значення набуває в межах методології системного підходу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проведемо аналіз наукових праць, що були присвячені моделюванню у сфері військової освіти, зокрема у СВО.

Моделюванню у сфері підготовки військових кадрів присвячено монографію авторського колективу під керівництвом І. С. Романченка [6]. В монографії представлено розроблений математичний апарат дослідження проблем кадрового менеджменту у військовій сфері, основними складовими якого є математичні моделі процесів кадрового менеджменту (переміщення, підготовки, накопичення тощо). Автори описують процес проходження військової служби математичною моделлю на основі однорідного марковського ланцюга з постійною функцією поповнення станів та безперервним часом. Математична модель процесу підготовки осіб офіцерського складу включає в себе марковську модель без поповнення станів і безперервним часом та стохастичну багатоперіодну оптимізаційну модель. В моделі використовується три рівня підготовки офіцерів: оперативно-стратегічний, оперативно-тактичний і тактичний. За результатами моделювання автори обґрунтовують обсяги державного замовлення на підготовку осіб офіцерського складу для Збройних сил України (далі – ЗС України) з урахуванням термінів їх підготовки за трьома рівнями військової освіти. Отже, основне призначення моделі підготовки – обґрунтувати порядок формування державного замовлення на підготовку офіцерів у системі кадрового менеджменту у військовій сфері.

У монографії авторського колективу під керівництвом В. Телеліма та Д. Вітера [7] до СВО входять три функціональні складові: вища освіта, професійна військова освіта та підвищення кваліфікації. Виходячи з цього, автори формують візуальну модель СВО та підготовки офіцерського складу за складовими підготовки офіцерів. Інші складові підготовки у СВО, у тому числі допризовна підготовка, а також підготовка осіб рядового складу, сержантського (старшинського)

складу авторами монографії не розглядається. Тому, така модель не дає змогу оцінити СВО.

Науковець М. Нещадим висвітлює модель СВО, як об'єкт управління [8]. У цій моделі визначено входи до системи, виходи з неї, її зовнішнє середовище. Входами до системи автор вважає ресурсне забезпечення функціонування системи, що включає людські, фінансово-матеріальні, інтелектуальні, духовні та часові ресурси. До виходів із системи автор відносить результати функціонування системи, що забезпечує перетворення витрачених ресурсів на кінцевий продукт, а саме кадровий, матеріальний, інтелектуальний, духовний, нормативно-правовий потенціали збройних сил. Зовнішнє середовище, яке впливає на СВО, вчений поділяє на дві частини: прямого і непрямого впливу. Середовищем прямого впливу він називає: концептуальні акти, нормативно-правову базу, органи управління Міністерства оборони України (далі – МО України) і Міністерства освіти і науки України (далі – МОН України), економіку держави. Середовищем непрямого впливу – світову науку і систему освіти, соціокультурне середовище, військово-політичну обстановку тощо.

Крім цього, М. Нещадим описує методологічну модель аналізу стану і розвитку СВО на основі аналізу графа відносин між елементами системи на засадах аналізу ієрархій. Автор відокремлює суб'єкти управління СВО (органи влади, органи управління, керівництво закладами освіти) та об'єкти управління (заклади освіти, науково-педагогічні працівники, слухачі, курсанти, тощо) та описує відносини управління (процес стійких взаємозв'язків, що формується у процесі взаємодії суб'єкта та об'єкта управління. Сама система розглядається як об'єкт управління.

В основу проектування СВО покладено системний підхід. На стадії проектування СВО використовується функціональне моделювання на основі інформаційної технології моделювання складних систем, особливістю якого є поступове введення дедалі більших рівнів декомпозиції. Складовими у процесах моделювання СВО розглядаються заклади освіти, нормативно-правова база, органи управління, а також зв'язки між внутрішніми та зовнішніми елементами середовища.

Досягнення М. Нещадима у розробленні методологічних засад створення СВО не викликає сумніву. Його дослідження є науковим супроводженням процесів, які відбувались у СВО України на початку ХХІ ст. та не можуть бути повною мірою застосовані в сучасних умовах.

Науковець С. Полторака [9] обґрунтовує евристичну модель уніфікації механізмів державного управління професійною підготовкою кадрів у системі вищої військової освіти. Ефективність державного регулювання такою системою визначається на основі критеріїв, узагальнених підкритеріїв та показників ефективності, які розташовані за підпорядкованістю на різних рівнях ієрархії. У

дослідженні діяльність системи вищої військової освіти представлено одночасно як об'єкта, так і суб'єкта реформування сил оборони, а якість підготовки військових кадрів вважається умовою ефективності оборонної реформи.

Науковець О. Устименко досліджує СВО, як суб'єкт державного управління на основі моделі державного управління, яка побудована за рівнями ієрархії [10]. Вищий рівень ієрархії – суб'єкти державного управління СВО: Президент України, Верховна Рада України, Кабінет Міністрів України, МОН України, МО України, Генеральний штаб ЗС України. Наступною групою суб'єктів управління є органи військового управління та Департамент військової освіти і науки МО України. До об'єктів управління автор відносить вищі військові навчальні заклади, військові навчальні підрозділи закладів освіти та наукові установи. Модель наведена О. Устименком відображає підпорядкованість у СВО за трьома рівнями ієрархії, що може бути використано у подальшому дослідженні.

У монографії [5] автори наводять концептуальну модель управління змінами у СВО, як комплексний опис сукупності структурних компонентів управлінського циклу щодо впровадження змін у СВО в умовах впливу чинників зовнішнього і внутрішнього середовищ. Водночас вона не дає можливості прогнозувати результати змін.

Питання моделювання у сфері військової освіти розглядається ще у кількох наукових працях. Водночас у своїй більшості мова йде про моделі підготовки військових кадрів. Так, у науковій праці [11] автори розробляють адаптивну модель розвитку професійної військової освіти на основі принципу «outcome-based», що у подальшому стає підґрунтям для формування кваліфікаційних вимог професійної підготовки офіцерів та військових фахівців. Статтю авторського колективу [12] присвячено формуванню моделі професійної військової освіти. Автори описують модель підготовки офіцерського складу за відповідними рівнями та формують професійні компетентності. Однак, крім освітніх програм підготовки офіцерів, інші елементи СВО не розглядаються. У наукових статтях [13; 14] автори досліджують застосування ланцюгів Маркова для оцінки їх результативності окремих проєктів, у тому числі, для відображення ступеня досконалості організаційно-технічних систем у сфері освіти. Аналогічний підхід може бути застосованим для моделювання у сфері СВО.

Таким чином, результати аналізу наукових робіт та публікацій свідчать про те, що переважна більшість науковців моделюють процес підготовки фахівців сектору безпеки і оборони держави. Крім того, СВО розглядається як об'єкт та суб'єкт управління, а моделювання процесів розвитку залишалося поза увагою науковців. Водночас, сьогодні існує ряд нових умов функціонування та складових СВО, які не відображались у попередніх моделях. Зокрема, це діяльність СВО під час відсічі збройній агресії та євроатлантична інтеграція

України. Отже, проблемним залишається питання моделювання змін СВО у процесах її розвитку та прогнозування ефектів, отриманих внаслідок впровадження змін.

**Метою статті** є розроблення моделі системи військової освіти на основі ланцюгів Маркова для прогнозування ефектів, отриманих внаслідок впровадження змін у процесах її розвитку.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Функціонування СВО у цілому орієнтоване на формування сукупного продукту – підготовленого персоналу. Водночас вимірювання та оцінювання її окремих елементів (освітні програми, заклади освіти, тощо) не дає уявлення про стан системи у цілому, тому СВО оцінюватиметься за її спроможностями, які полягатимуть у здатності до підготовки персоналу в інтересах сектору безпеки і оборони України.

Спроможності СВО формуватимуться спільно всіма елементами, а оцінюватимуться за складниками DOTMLPFI (doctrine – доктрина, organization – організація, training – підготовка, materiel – забезпечення, leadership – керівництво, personnel – персонал, facilities – інфраструктура, interoperability – сумісність), який застосовується в багатьох країнах-членах НАТО [15].

Процес формування спроможностей СВО може бути представлено абстрактною моделлю, яка у цілому відображатиме сукупність елементів СВО та складників її спроможностей (рис. 1).

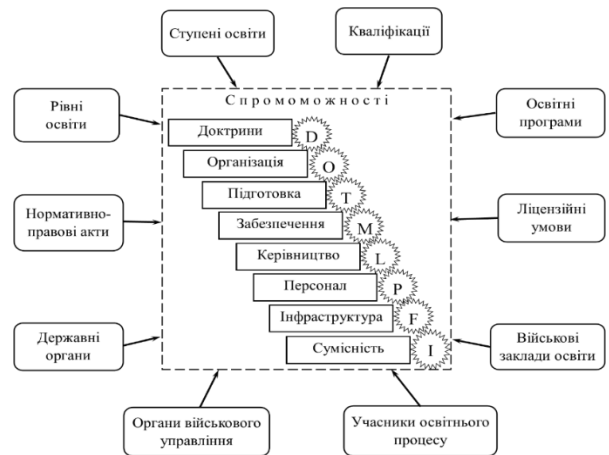


Рисунок 1 – Абстрактна модель формування спроможностей системи військової освіти

Висновки з аналізу умов функціонування та результати вивчення досліджень у сфері військової освіти свідчать про те, що СВО є багаторівневою. На кожному рівні розташовуватимуться її складові елементи, що вказуватимуть на зв'язки та залежності між ними.

Декомпозиція складових СВО на три рівні ієрархії (державний, відомчий та інституційний) дозволить відобразити місце, де формуватиметься зміна та місце, де така зміна надаватиме новий ефект (результат), прогноз впливу цього ефекту й висновок щодо доцільності такої зміни, зокрема, чи буде це пов'язано із

набуттям нових спроможностей, а саме, з процесом розвитку СВО.

Відомо, що реалізація концепцій, в яких поєднуються цільові, системні та інтегральні підходи діяльності організацій пов'язана зі стратегічним управлінням [16]. Стратегічне управління є багаторівневим управлінським процесом, який сприяє формуванню та реалізації стратегій і концепцій. Отже, реалізацію концепцій розвитку СВО слід розглядати через призму стратегічного управління. Запровадження такого управління до процесу управління розвитком СВО потребує узагальнення основних управлінських процесів, зокрема стратегічного аналізу, визначення мети і цілей, формування стратегії й концепції, впровадження змін та їх моніторинг [16; 17].

Оскільки досягнення стратегічної мети розвитку СВО є складним, багатоаспектним завданням, доцільно здійснити її декомпозицію. Тобто розподілити на кілька цілей та конкретизувати бажані ефекти впровадження змін та сукупний ефект. Такий метод, що отримав назву «дерево цілей», широко застосовують в практиці управління державних та економічних структур. За допомогою «дерева цілей» описують їх впорядковану ієрархію та послідовну декомпозицію стратегічної мети на часткові цілі з дотриманням певних принципів [18]:

під час декомпозиції стратегічної мети враховується, що реалізація цілей нижчого рівня є умовою досягнення цілей вищого рівня;

формулювання цілей описується через бажані результати, а не способи їх досягнення;

формулювання цілей здійснюється із врахуванням реальних ресурсів;

цілі одного рівня не мають бути взаємозалежними і перетинатися;

на найнижчому рівні «дерева цілей» описується завдання конкретних виконавців, забезпечених необхідними ресурсами, що можуть бути виконані в установлені терміни з необхідним результатом.

З іншого боку, СВО розглядається, як складна

багатовимірна ієрархічна система. Тому, модель формування дерева цілей розвитку СВО за складниками спроможностей та рівнями ієрархії (державний, відомчий, інституційний) є таксономічною моделлю, адже описує розміщення цілей розвитку за певними рівнями, принципами та правилами (рис. 2).

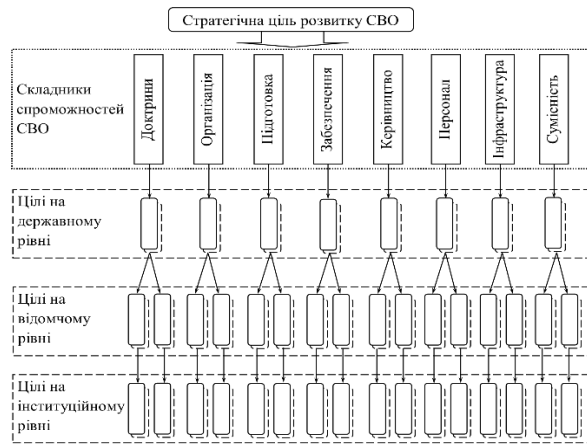


Рисунок 2 – Таксономічна модель «дерева цілей» розвитку системи військової освіти

Варто відзначити, що досконало побудоване «дерево цілей» у подальшому трансформуватиметься у програми та проекти, визначені цілі мають відповідати вищезазначеним критеріям SMART (specific – конкретна, measurable – вимірна, achievable – досяжна, relevant – значуща, time-bounded – обмежена у часі). Наступним кроком є моделювання стану елементів СВО у процесі впровадження змін для досягнення бажаних ефектів розвитку СВО.

Формування критеріїв визначення рівня відповідності здійснено за параметрами можливості чіткого окреслення його стану і відповіді «так» чи «ні» і відповідності таких критеріїв загальним підходам щодо ознак випадкових подій, прийнятих у теорії ймовірності та рівномірної шкали оцінювання ймовірності настання події (табл. 1).

Таблиця 1

Критерії визначення рівня відповідності складових спроможностей системи військової освіти

Ймовірність події	Стислий опис відповідності вимогам	Характеристика стану елементу спроможності СВО	Рівень відповідності
0,01...0,24	точно «ні»	Стан елементу не відповідає визначеним вимогам, виявлені недоліки (невідповідності) мають фундаментальний характер та не можуть бути усунені протягом одного року	D
0,25...0,49	радше «ні»	Стан елементу не відповідає визначеним вимогам, виявлені недоліки (невідповідності) можуть бути усунені протягом одного року	C
0,50...0,74	радше «так»	Стан елементу відповідає визначеним вимогам, однак виявлені несуттєві недоліки (невідповідності)	B
0,75...1,00	точно «так»	Стан елементу повністю відповідає визначеним вимогам є ознаки (перспективи) розвитку	A

Критерії визначення рівня відповідності складових спроможностей СВО є підґрунтям створення моделі стану елементів спроможності СВО за рівнями відповідності А, В, С, D. Діяльності СВО розглядатимемо, як випадковий

процес, у якому складники СВО та її спроможності залежать від випадкових подій, адже кількісно-якісне співвідношення підготовленого персоналу є випадковим явищем, що залежить від багатьох випадкових подій.

Стан відповідності  $i$ -го складника спроможностей  $Q_i$  в загальному уявленні можна позначити, як відношення його фактичного стану ( $q_i$ ) до бажаного або нормативного ( $q_n$ ):

$$Q_i = \frac{q_i}{q_n}, \quad (1)$$

де  $n$  – індекс станів елементів  $i = 1, 2, \dots, N$ .

Вважатимемо, що всі складники спроможностей СВО є рівноважливими, адже через наявність зв'язків та взаємного впливу одного складника на інший встановити їх пріоритетність є достатньо складним завданням зі значною кількістю невідомих та випадкових даних. Тоді, загальну оцінку стану якості елементів спроможностей СВО  $Q$  представимо через сукупність паралельних випадкових процесів для яких:

$$Q = 1 - \sum_{i=1}^I (1 - Q_i)_i, \quad (2)$$

Стан кожного складника спроможностей є змінюваним у часі. Водночас виміряти цей стан можливо лише за певним результатом реалізації спроможності (завершення навчального року, завершення терміну курсу навчання, отримання відгуків від випускників тощо). Отже час є дискретним. За таких міркувань можна вважати, що у фіксований момент часу ( $t$ ):

$$Q_i = \{p_1(t_1), p_2(t_2), \dots, p_j(t_j)\}, \quad (3)$$

де  $p_j(t)$  – ймовірність перебування елемента у стані  $j$ ,  $j = 1, 2, \dots, J$ .

За умов встановлення фіксованих критеріїв стану елемента спроможності (A, B, C, D), максимальне значення  $J = 4$ . Водночас слід ще встановити інтервал фіксації часу, або той момент часу, коли здійснюватиметься вимірювання стану елемента.

Вважатимемо, що процес розвитку СВО пов'язаний із виконанням певних змін і заходів. Зміни можуть створювати як негативний, так і позитивний ефект. Для моделювання встановлюємо, що результатом зміни є ефект, за якого елемент спроможності перейшов з одного стану у інший. Висновок стосовно доцільності зміни здійснюватиметься на підставі оцінювання до якого рівня (вищого чи нижчого) перейшов елемент спроможностей. Інтервалом фіксації часу коли здійснюватиметься вимірювання стану якості елемента є крок ( $k$ ) під яким розумітимемо комплекс впроваджених змін, ефектом яких є зміна показника стану  $Q$ .

Відомо, що випадковий процес, який відбувається в системі, вважається Марковським, якщо для будь-якого моменту часу  $t_0$ , ймовірнісні характеристики процесу в майбутньому, залежать лише від його стану в даний момент  $t_0$  і не залежать від того, коли і як система прийшла до цього стану [19]. Отже, оцінювання стану окремого елемента спроможностей СВО після здійснення кроку  $k$  не пов'язане з оцінюванням його попереднього стану, тобто процес зміни стану елементів спроможностей СВО вважатимемо однорідним марковським процесом з дискретним станом та дискретним

часом.

За допомогою методу ймовірності станів опишемо однорідний ланцюг Маркова з дискретним станом для станів A, B, C, D і дискретним часом, що змінюється покроково та обчислюється.

Припустимо, у момент часу  $t$  (після кроку  $k$ ) елемент спроможностей перебуватиме в одному зі станів:  $Q = \{Q_D, Q_C, Q_B, Q_A\}$ , тобто здійсниться одне з повної групи несумісних подій:  $Q_D(k)$ ,  $Q_C(k)$ ,  $Q_B(k)$ ,  $Q_A(k)$ . У такому випадку показник  $Q$  може змінюватись на кожному кроці  $k$ :

$$Q_i(k) = \{P_D(k), P_C(k), P_B(k), P_A(k)\}. \quad (4)$$

Позначимо ймовірність того, що елемент спроможності перебуває у станах  $j \dots J$  на моменті завершення кроків  $k$  ( $k = 1, 2, \dots, K$ ). Ймовірності  $P_D(k)$ ,  $P_C(k)$ ,  $P_B(k)$ ,  $P_A(k)$  є ймовірністю стану однорідного марковського ланцюга, в якому перехідні ймовірності не залежать від номеру кроку. З огляду на властивість ймовірності несумісних дій, що утворюють повну групу, для кожного кроку  $k$ :

$$P_D(k) + P_C(k) + P_B(k) + P_A(k) = 1. \quad (5)$$

Такий підхід дозволяє моделювати результати впровадження змін у СВО впливом на окремі елементи спроможностей СВО через оцінювання досягнення позитивного (перехід у вищій стан) або негативного (перехід у нижчий стан) ефекту зміни.

Описаний випадковий процес подамо через ланцюг Маркова, як переміщення точки (показник  $Q_i$ ) по графу станів випадковим чином з переходом з одного стану у інший за кроками  $t_1, t_2, \dots, t_k$ .

Варто зазначити, що не кожна зміна (крок) обов'язково призводить до переходу  $Q_i$  до іншого стану. В певний проміж часу, він може перебувати у попередньому стані, тому для будь-якого кроку (моменту часу) існують різні ймовірності переходу показника в інший стан або затримання його у сталому положенні.

Водночас, стан елемента, що повністю відповідає визначеним вимогам (стан «A»), вважатимемо поглинальним станом, через те, що впровадження зміни, яке призвело до переходу елемента спроможності у найвищий стан відповідності свідчитиме, що зміна є прийнятною, а ефект її впровадження є таким, що відповідає меті або визначеному завданню.

Прогнозування на підставі за рівнями відповідності A, B, C, D дозволить здійснити оцінювання таких змін, за яких елемент перейде у стан повної відповідності вимогам, тому подальше моделювання буде не потрібним.

Особливістю поглинального стану є те, що зі збільшенням кількості кроків (змін), які відповідають меті ( $k \rightarrow \infty$ ) ймовірність того, що елемент досягне поглинального стану наблизиться до 1. Для опису такого процесу скористаємося графом станів елементів спроможностей СВО, який є сукупністю вершин, що зображають можливі стани елемента  $Q_i$  з ймовірністю  $P_i$ . Вектори, що відображають можливі варіанти його переходу з одного стану в інший та

імовірності того, що елемент перейде з одного стану в інший – перехідні імовірності  $\pi_{ij}$  (рис. 3).

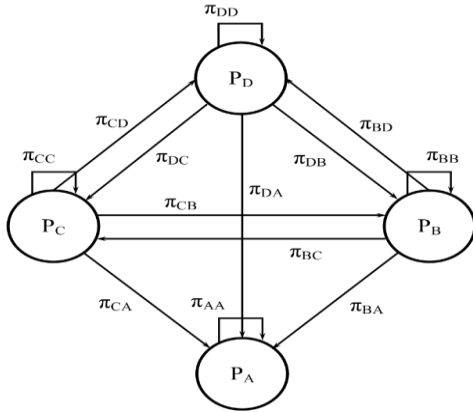


Рисунок 3 – Розмічений граф станів елементів спроможностей СВО

Умови переходу з одного стану в інший ймовірності перебування елементу спроможностей в різних станах залежно від її поточного стану у загальному вигляді можуть бути подані системою диференціальних рівнянь Чепмена-Колмогорова [19]:

$$\begin{aligned} \frac{dP_D(t)}{dt} &= P_C(t)\pi_{CD} + P_B(t)\pi_{BD} - P_D(t)\pi_{DC} - P_D(t)\pi_{DB} - P_D(t)\pi_{DA} \\ \frac{dP_C(t)}{dt} &= P_D(t)\pi_{DC} + P_B(t)\pi_{BC} - P_C(t)\pi_{CD} - P_C(t)\pi_{CB} - P_C(t)\pi_{CA} \quad (6) \\ \frac{dP_B(t)}{dt} &= P_D(t)\pi_{DB} + P_C(t)\pi_{CB} - P_B(t)\pi_{BD} - P_B(t)\pi_{BC} - P_B(t)\pi_{BA} \\ \frac{dP_A(t)}{dt} &= P_D(t)\pi_{DA} + P_C(t)\pi_{CA} + P_B(t)\pi_{BA} \end{aligned}$$

З огляду на те, що кожен крок є фіксованим у часі, тобто ми маємо однорідний марковський ланцюг з дискретним часом, диференціальні рівняння запишемо лінійними рівняннями для кожного зі станів:

$$\begin{cases} P_D\pi_{DC} + P_D\pi_{DB} + P_D\pi_{DA} = P_C\pi_{CD} + P_B\pi_{BD} \\ P_C\pi_{CD} + P_C\pi_{CB} + P_C\pi_{CA} = P_D\pi_{DC} + P_B\pi_{BC} \\ P_B\pi_{BD} + P_B\pi_{BC} + P_B\pi_{BA} = P_D\pi_{DB} + P_C\pi_{CB} \\ P_A = P_D\pi_{DA} + P_C\pi_{CA} + P_B\pi_{BA} \end{cases} \quad (7)$$

або

$$\begin{cases} P_D(\pi_{DC} + \pi_{DB} + \pi_{DA}) = P_C\pi_{CD} + P_B\pi_{BD} \\ P_C(\pi_{CD} + \pi_{CB} + \pi_{CA}) = P_D\pi_{DC} + P_B\pi_{BC} \\ P_B(\pi_{BD} + \pi_{BC} + \pi_{BA}) = P_D\pi_{DB} + P_C\pi_{CB} \\ P_A = P_D\pi_{DA} + P_C\pi_{CA} + P_B\pi_{BA} \end{cases} \quad (8)$$

У системі рівнянь (8), ліворуч розташовані ймовірності перебування у певному стані, які помножені на сумарну перехідну ймовірність з цього стану в інший, праворуч – сума добутків усіх перехідних ймовірностей на ймовірність тих станів з яких здійснюється перехід. Тоді, якщо ліву

частину рівняння позначити через вектор переходу з певного стану в інший:

$$\vec{Q} = \{ \vec{Q}_D; \vec{Q}_C; \vec{Q}_B; \vec{Q}_A \}, \quad (9)$$

отримаємо

$$\begin{cases} \vec{Q}_D = P_C\pi_{CD} + P_B\pi_{BD} + P_A\pi_{AD} \\ \vec{Q}_C = P_D\pi_{DC} + P_B\pi_{BC} + P_A\pi_{AC} \\ \vec{Q}_B = P_D\pi_{DB} + P_C\pi_{CB} + P_A\pi_{AB} \\ \vec{Q}_A = P_D\pi_{DA} + P_C\pi_{CA} + P_B\pi_{BA} \end{cases} \quad (10)$$

Ймовірність залишення у незмінному положенні  $\pi_{ij}$  доповнюватиме суму перехідних ймовірностей до одиниці. Наприклад, для стану  $Q_D$  справедливим буде твердження  $\pi_{DD} = 1 - (\pi_{CD} + \pi_{BD} + \pi_{AD})$ . З урахуванням цього, перехідні ймовірності з одного стану в інший опишуть матрицю:

$$\pi_{ij} = \begin{vmatrix} \pi_{DD} & \pi_{DC} & \pi_{DB} & \pi_{DA} \\ \pi_{CD} & \pi_{CC} & \pi_{CB} & \pi_{CA} \\ \pi_{BD} & \pi_{BC} & \pi_{BB} & \pi_{BA} \\ \pi_{DA} & \pi_{CA} & \pi_{BA} & \pi_{AA} \end{vmatrix} \quad (11)$$

Зводимо лінійні рівняння (10) у матрицю:

$$\begin{vmatrix} \vec{Q}_D \\ \vec{Q}_C \\ \vec{Q}_B \\ \vec{Q}_A \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} P_D \\ P_C \\ P_B \\ P_A \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \pi_{DD} & \pi_{DC} & \pi_{DB} & \pi_{DA} \\ \pi_{CD} & \pi_{CC} & \pi_{CB} & \pi_{CA} \\ \pi_{BD} & \pi_{BC} & \pi_{BB} & \pi_{BA} \\ \pi_{DA} & \pi_{CA} & \pi_{BA} & \pi_{AA} \end{vmatrix} \quad (12)$$

На основі матриці перехідних станів, за умови, що початковий стан показника відомий, можна знайти ймовірності станів  $P_D(k)$ ,  $P_C(k)$ ,  $P_B(k)$ ,  $P_A(k)$  після кожного  $k$ -го кроку впровадження змін, які сприяли ефекту переходу елемента спроможності від нижчого стану до вищого. Водночас, можна вважати, що початковим станом є стан  $Q_D$  тоді  $P_D(0) = 1$ . Перехідні ймовірності за кроками можна записати матрицею:

$$\pi_{ij} = \begin{vmatrix} \pi_{D(1)} & \pi_{C(1)} & \pi_{B(1)} & \pi_{A(1)} \\ \pi_{D(2)} & \pi_{C(2)} & \pi_{B(2)} & \pi_{A(2)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \pi_{D(k)} & \pi_{C(k)} & \pi_{B(k)} & \pi_{A(k)} \end{vmatrix} \quad (13)$$

Ймовірність станів після першого кроку визначатиметься за допомогою перехідних ймовірностей першого рядка матриці, для другого і наступних кроків за виразом:

$$\pi_{i(k)} = \sum_{j=1}^J P_{i(k-1)}\pi_{ij} \quad (14)$$

Тоді з урахуванням перехідних ймовірностей вектор переходу елемента спроможності ( $\vec{Q}$ ) на кожному наступному кроці ( $k+1$ ) можна записати:

$$\vec{Q}_J^{(k+1)} = \vec{Q}_j^k P_j^k \pi_{jj} = \begin{vmatrix} P_D \\ P_C \\ P_B \\ P_A \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \pi_{DD} & \pi_{DC} & \pi_{DB} & \pi_{DA} \\ \pi_{CD} & \pi_{CC} & \pi_{CB} & \pi_{CA} \\ \pi_{BD} & \pi_{BC} & \pi_{BB} & \pi_{BA} \\ \pi_{DA} & \pi_{CA} & \pi_{BA} & \pi_{AA} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \pi_{D(1)} & \pi_{C(1)} & \pi_{B(1)} & \pi_{A(1)} \\ \pi_{D(2)} & \pi_{C(2)} & \pi_{B(2)} & \pi_{A(2)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \pi_{D(k)} & \pi_{C(k)} & \pi_{B(k)} & \pi_{A(k)} \end{vmatrix} \quad (15)$$

Перехідні ймовірності стану елементу спроможності можуть бути отримані за даними статистичних досліджень, експертними методами досліджень або їх поєднанням, коли на певному етапі змін ми матимемо статистичні дані, а на подальших етапах узгоджену думку експертів. Отже, на етапі планування зміни, група експертів визначатиме значення перехідної ймовірності, у подальшому здійснюватиметься моделювання та оцінювання доцільності запланованої зміни.

Управління змінами у процесах розвитку СВО здійснюватиметься на підґрунті моделювання процесу формування спроможностей СВО, моделювання цілей розвитку на основі моделі дерева цілей та моделювання стану елементів спроможностей СВО за результатами прогнозованих ефектів, отриманих від запланованих змін. Ланцюг Маркова дозволяє моделювати стан елементу спроможності СВО залежно від впроваджених змін та прогнозованих ефектів від їх впровадження.

### Список бібліографічних посилань

**1. Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 25.03.2021 “Про Стратегію воєнної безпеки України”:** Указ Президента України від 25.03.2021 № 121/2021. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/121/2021#n2> (дата звернення: 05.06.2023). **2. Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 20.08.2021 “Про Стратегічний оборонний бюлетень України”:** Указ Президента України від 17.09.2021 № 473/2021. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/473/2021#n2> (дата звернення: 05.06.2023). **3. Про трансформацію системи військової освіти:** Постанова Кабінету Міністрів України від 15.12.1997 № 1410. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1410-97-%D0%BF#Text> (дата звернення: 05.06.2023). **4. Сальнікова О. Ф., Артамощенко В. С.** Теоретичні аспекти державного управління системою військової освіти. *Інвестиції: практика та досвід*. 2021. № 12. С. 67–71. URL: <https://doi.org/10.32702/2306-6814.2021.12.67>. **5. Зельницький А. М., Васильєв О. М., Шабатіна Н. О., Заболотний О. А.** Теоретико-методологічні засади управління змінами в системі військової освіти: монографія. Київ: НУОУ, 2022. 312 с. **6. Математичні основи кадрового менеджменту у військовій сфері:** монографія. / Ю. А. Гусак, А. М. Сиротенко, П. І. Шуляк, О. В. Бобрун, В. М. Пасічник під заг. ред. д. військ. н. І. С. Романченка. Київ: ЦНДІ ЗС України, 2019. 250 с. **7. Професійна військова освіта в Україні у сучасному безпековому середовищі:** монографія. / І. Руснак, В. Мірненко, В. Оліферук та ін.; за заг. ред. д. філос. наук Д. Вітера та д. військ. н. В. Телелима. Київ: НУОУ, 2021. 277 с. **8. Нецадим М.І.** Військова освіта України: історія, теорія, методологія, практика: монографія. Київ: Видавничо-поліграфічний центр “Київський університет”, 2003. 852 с. **9. Полторак С. Т.** Уніфікація механізмів державного управління реформуванням Збройних сил України в умовах трансформаційного суспільства: дис. доктора наук з державного управління: 25.00.02. Харків: НУ ЦЗУ, 2018. 450 с. **10. Устименко О. В.** Механізми державного управління системою військової освіти України: автореф. дис. кандидата наук з державного управління: 25.00.02. Київ:

### Висновки й перспективи подальших досліджень

Таким чином, абстрактна модель системи військової освіти (рис. 1) дає уявлення про зв'язок між її елементами та складниками спроможностей. Таксономічна модель дерева цілей (рис. 2) відображає впорядковану ієрархію та послідовну декомпозицію стратегічної мети розвитку системи військової освіти на часткові цілі на трьох рівнях ієрархії. Модель стану елементів спроможностей ґрунтується на однорідному ланцюзі Маркова з дискретним станом, дискретним часом та поглинальним станом «А», що дозволяє встановити стан елемента спроможності та прогнозувати отримані ефекти внаслідок запроваджених змін у процесах розвитку системи військової освіти.

Модель є підґрунтям для подальшого розроблення інструменту (методу, методики, механізму) оцінювання елементів спроможностей та системи військової освіти у цілому.

НА ДУ при ПУ, 2012. 23 с. **11. Оліферук В., Вітер Д., Шабатіна Н.** Моделювання процесу розвитку військової освіти в Україні: принципи та підходи до стандартизації. *Військова освіта: Збірник наукових праць НУОУ*. 2020. № 2 (42). С. 215–221. URL: <https://doi.org/10.33099/2617-1783/2020-2/215-221>. **12. Мітягін О., Вітер Д., Карпенко В.** Формування моделі професійної військової освіти в Україні з урахуванням процедур оперативного планування НАТО. *Військова освіта: Збірник наукових праць НУОУ*. 2021. № 1 (43). С. 64–78. URL: <https://doi.org/10.33099/2617-1783/2021-43/64-78>. **13. Олех Т. М., Гогунський В. Д., Барчанова Ю. С., Дмитренко К. М.** Дослідження поглинаючих станів системи за допомогою марківських ланцюгів та фундаментальної матриці. *Вісник НТУ «ХПИ»*. 2016. № 2 (1174). С. 17–21. URL: <https://doi.org/10.20998/2413-3000.2016.1174.4>. **14. Колесніков О. С.** Управління проектами у сфері освіти з використанням марковської моделі оцінки діяльності. *Управління розвитком складних систем*. 2017. № 29. С. 160–167. URL: <http://urss.knuba.edu.ua/files/zbirnyk-29/23.pdf> (дата звернення: 05.06.2023). **15. Оборонна реформа: системний підхід до оборонного менеджменту:** монографія. / А. Павліковський, В. Фролов, Ф. Саганюк та ін.; за заг. ред. д. військ. н. А. Сиротенка. Київ: НУОУ, 2020. 274 с. URL: <https://nuou.org.ua/assets/documents/mono-obo-ref-2020.pdf> (дата звернення: 05.06.2023). **16. Шершньова З. Є.** Стратегічне управління: підручник. Київ: КНЕУ, 2004. 699 с. **17. Bertalanffy L. von, Braziller G.** General systems theory. Foundations, Development, Applications. Inc. New York. 1969. 289 p. URL: [https://monoskop.org/images/7/77/Von\\_Bertalanffy\\_Ludwig\\_General\\_System\\_Theory\\_1968.pdf](https://monoskop.org/images/7/77/Von_Bertalanffy_Ludwig_General_System_Theory_1968.pdf) (дата звернення: 05.06.2023). **18. Коваль М. В., Пунда Ю. В., Артамощенко В. С.** Методологічні аспекти формування стратегії розвитку вищого військового навчального закладу. *Наука і оборона*. 2022. № 3/4. С. 37–46. URL: <https://doi.org/10.33099/2618-1614-2022-20-3-4-37-46>. **19. Імовірність, процеси, статистика:** навчальний посібник / О. І. Клесов, Є. О. Лебедев, М. І. Портенко. Київ: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2008. 494 с.

## THE MODEL OF MILITARY EDUCATION SYSTEM BASED ON MARKIV CHAIN

*Artamoshchenko Vadym (Candidate of Military Sciences, Associate Professor)*

*National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

*Training military personnel of the defense forces using lessons learned during the repulsion of armed aggression by the Russian Federation, as well as incorporating NATO methodologies, training methods, principles, and standards, is one of the objectives of military education development. The development of the military education system entails systemic changes and change management. Forecasting the possible effects resulting from the implementation of these changes requires the construction of a military education system model. The purpose of the article is to develop a model of the military education system for predicting the effects obtained through the implementation of changes in its developmental processes. The article employs a method for assessing the joint capabilities of the military education system. The process of forming the capabilities of the military education system represented by abstract model that reflects the totality of system elements and components of its capabilities. The components of the military education system divided into three levels of hierarchy: state, departmental and institutional. The author proposes to implement the strategic goal and individual goals of the development of the military education system according to the «goal tree» taxonomic model. The author, based on the approaches adopted in probability theory and the uniform scale of probability assessment for the occurrence of a random event, proposes the «ABCD model» to describe the criteria for determining the level of conformity of the components' military education system capabilities. A discrete-time, discrete-state Markov chain has been developed to assess the state of system capability elements. The matrix of the transition vector for each step of change is described, considering the probabilities of transitioning the capability elements from one state to another due to the implementation of a specific change. This model enables the prediction of the effects obtained from implemented changes and the state of the capability elements in the developmental processes of the military education system.*

**Key words:** model, capabilities, system of military education, Markov chain.

## References

- 1. On the decision** of the National Security and Defense Council of Ukraine of 03/25/2021 «On the Military Security Strategy of Ukraine» [online], (2021). Decree of the President of Ukraine № 121/2021, 25 March. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/121/2021#n2> [Accessed 05 June 2023].
- 2. On the decision** of the National Security and Defense Council of Ukraine of 20.08.2021 «On the Strategic Defense Bulletin of Ukraine» [online], (2021). Decree of the President of Ukraine № 473/2021, 17 September. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/473/2021#n2> [Accessed : 05 June 2023].
- 3. On the transformation** of the military education system [online], (1997). Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine № 1410. 15 December. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1410-97-%D0%BF#Text> [Accessed : 05 June 2023].
- 4. Salnikova, O., Artamoshchenko, V.**, (2021). Theoretical aspects of public administration of the military education system. *Investments: practice and experience*. 12, 67-71. DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6814.2021.12.67>.
- 5. Zelnytskyi, A., Zabolotnyi, O., Vasyliiev, O., Shabatina, N.**, (2022). *Theoretical and methodological principles of change management in the system of military education*: a monograph. Kyiv: NUOU.
- 6. Husak, Y., Syrotenko, A., Shulyak, P., Bobrun, O., Pasichnyk, V.**, (2019). *Mathematical foundations of personnel management in the military sphere*: monograph / edited by Doctor of Military Sciences I. Romanchenko. Kyiv: Central Research Institute of the Armed Forces of Ukraine.
- 7. Rusnak, I., Mirnenko, V., Oliferuk, V. and others**, (2021). *Professional military education in Ukraine in the modern security environment*: a monograph / edited by Doctor of Philosophy D. Viter and Doctor of Military Sciences V. Telelym. Kyiv: NUOU.
- 8. Neshchadym, M. I.**, (2003). *Military Education of Ukraine: History, Theory, Methodology, Practice*: a monograph. Kyiv: Kyiv University Publishing and Printing Center.
- 9. Poltorak, S. T.**, (2018). *Unification of mechanisms of public administration of the reform of the Armed Forces of Ukraine in the conditions of a transformational society*. Doctor of Science in Public Administration. 25.00.02. Kharkiv, National University of Civil Protection of Ukraine.
- 10. Ustyenko, O. V.**, (2012). *Mechanisms of public administration of the system of military education of Ukraine*. Avtoref. Dys...PhD in Public Administration. 25.00.02. Kyiv, National Academy for Public Administration under the President of Ukraine.
- 11. Oliferuk, V., Viter, D., Shabatina, N.**, (2020). Modeling the process of development of military education in Ukraine: principles and approaches to standardization. *Military education: Collection of scientific works of the NOU*. 2 (42), 215-221. DOI: <https://doi.org/10.33099/2617-1783/2020-2/215-221>.
- 12. Mitiahin, O., Viter, D., Karpenko, V.**, (2021). Formation of a model of professional military education in Ukraine taking into account NATO operational planning procedures. *Military Education: Collection of scientific papers of NGOs*. 1 (43), 64-78. DOI: <https://doi.org/10.33099/2617-1783/2021-43/64-78>.
- 13. Olekh, T. M., Gogunsky, V. D., Barchanova, Y. S., Dmitrenko, K. M.**, (2016). Investigation of absorbing states of the system by means of Markov chains and fundamental matrix. *Bulletin of NTU «KhPI»*. 2 (1174), 17-21. DOI: <https://doi.org/10.20998/2413-3000.2016.1174.4>.
- 14. Kolesnikov, O. E.**, (2017). *Project management in the field of education using the Markov model of activity evaluation*. Management of the development of complex systems. 29, 160-167 [online]. Available at: <http://urss.knuba.edu.ua/files/zbirnyk-29/23.pdf> [Accessed : 05 June 2023].
- 15. Syrotenko, A., Pavlikovskiy, A., Frolov, V. & oth's**, (2020). *Defense reform: a systematic approach to defense management*: a monograph. Kyiv : NUOU [online]. Available at: <https://nuou.org.ua/assets/documents/mono-obo-ref-2020.pdf> [Accessed : 05 June 2023].
- 16. Shershnova, Z. Ie.**, (2004). *Strategic management*: a textbook. Kyiv: KNEU.
- 17. Bertalanffy, L. von, Braziller, G.**, (1969). *General systems theory. Foundations, Development, Applications*. Inc. New York [online]. Available at: [https://monoskop.org/images/7/77/Von\\_Bertalanffy\\_Ludwig\\_General\\_System\\_Theory\\_1968.pdf](https://monoskop.org/images/7/77/Von_Bertalanffy_Ludwig_General_System_Theory_1968.pdf) [Accessed : 05 June 2023].
- 18. Koval, M. V., Punda, Y. V., Artamoshchenko, V. S.**, (2022). Methodological aspects of forming a development strategy for a higher military educational institution. *Science and Defense*. 3/4, 37-46. DOI: <https://doi.org/10.33099/2618-1614-2022-20-3-4-37-46>.
- 19. Klesov, O. I., Liebiediev, Ye. O., Portenko, M. I.**, (2008). *Probability, processes, statistics*: a textbook. Kyiv: Kyiv University Publishing and Printing Center.