The Central Research institute
of the Armed Forces of Ukraine

ISSN (print): 2786-9318
ISSN (online): 2786-9326
Military Science. Vol. 4 No.1 (2026)

Received: *September 14, 2025* | **Revisions Requested: -** | **Revision Received:** -
Accepted: *December 1, 2025* | **Published Online:** *April 10, 2026*

Licensed (C) by Creative Commons Attribution International License 4.0 (CC BY-NC-SA)

DOI: 10.62524/msj.2026.4.1.15

Модель підвищення гнучкості циклу управління оперативно-тактичним угрупованням в умовах множинних невизначеностей обстановки

Вадим Клименко
кандидат військових наук, доцент
докторант науково-організаційного відділу
Центральний науково-дослідний інститут Збройних Сил України
03049, проспект Повітряних Сил, 28 Б, Київ, Україна
e-mail: vadymklymenko@ukr.net
ORCID: 0000-0001-9144-2362

Анотація. Актуальність досліджуваної проблеми полягає у необхідності подальшого набуття системою управління угруповання військ (сил) спроможностей у проактивних діях, які демонструють здатність зменшувати вплив невизначеностей обстановки шляхом коригування рішень у реальному часі. Інструментом для налаштування та розвитку цих спроможностей є цикл управління, в межах якого формується логіка побудови стійкого механізму функціонування системи в динамічному середовищі оперативної обстановки. В умовах впливу множинних невизначеностей управлінський цикл залежить від рівня його адаптивності, набуває нелінійного характеру і потребує гнучких підходів до ухвалення рішень. Адаптація системи управління реалізується практичним впровадженням математичних методів аналізу невизначеності та алгоритмів динамічних систем, що дозволяє оцінювати ризики, покращувати точність рішень та адаптивність системи до змінного середовища. Водночас, адаптація – це не лише застосування математичних методів, а й їх інтеграція в алгоритми ухвалення рішень, системи контролю та механізми самонавчання. Метою статті є розроблення моделі, яка підвищує спроможності системи управління та забезпечує: моделювання сценаріїв зміни обстановки в умовах невизначеностей обстановки шляхом мінімізації похибок оцінювання стану системи; стійкість функціонування за рахунок урахування множини випадкових чинників, що впливають на параметри стану системи та, відповідно, на досягнення критеріїв ефективності функціонування; запровадження підсистеми зворотного зв'язку для корекції оцінки ефективності ухвалених рішень на основі моніторингу ключових показників ефективності. Направленість статті полягає у пошуку математичних методів, які сприяють стабільності прогнозу оперативної обстановки, створюють командиру і штабу умови для ухвалення рішень на основі гарантованих оцінок, та забезпечують послідовність у діях в умовах багатьох невизначеностей даних. У статті застосовано наукові підходи, які дозволяють здійснити корекцію плану застосування сил і засобів при зміні оперативної (тактичної) обстановки у реальному часі, передбачають перегляд ризиків і внесення коректив у існуючий план або розроблення нового варіанта дій. На відміну від методу найменших квадратів або методу максимальної правдоподібності, які враховують лише вимірювальну інформацію, що надходить в процесі проведення поточного експерименту, порівняльний аналіз попередніх даних та поточної ситуації найбільш адекватно може бути виконаний методом максимальної апостеріорної ймовірності, який для оцінювання параметрів стану динамічної системи враховує апріорну інформацію про ці параметри. Як

ISSN (print): 2786-9318
ISSN (online): 2786-9326
Military Science. Vol. 4 No.1 (2026)

відомо, він базується на баєсівському підході й знаходить значення параметру, що максимізує апостеріорну ймовірність, тобто знаходить найімовірніші значення параметрів, беручи до уваги як дані поточної обстановки, так і апріорні знання. Основними результатами статті є підвищення адаптивності циклу управління оперативно-тактичним угрупованням, що передбачає своєчасну корекцію плану застосування військ (сил) у реальному часі. У статті розглянуто характеристики, що визначають спроможності системи управління залежно від її поточного стану, запропоновано модель оптимізації функціонування системи на основі підвищення гнучкості циклу управління в умовах множинних невизначеностей оперативної обстановки. Адаптація моделі до стохастичних змін у даних реалізується завдяки оновленню її параметрів на основі попереднього досвіду з використанням методу максимальної апостеріорної ймовірності. Наведено пропозиції щодо ухвалення компромісних управлінських рішень. Практична значущість отриманих результатів полягає у тому, що використання запропонованої моделі є доцільним для об'єктивної оцінки ймовірності успіху різних сценаріїв на основі доступної розвідувальної інформації. Формування компромісних варіантів рішень передбачає побудову декількох альтернативних планів дій із різним рівнем ризику та ресурсних витрат.

Ключові слова: цикл управління, оцінювання ефективності системи управління, параметри стану системи, метод максимальної апостеріорної ймовірності.

Вступ (Introduction)

Спроможності системи управління у прикладному аналізі – це сукупність властивостей, характеристик та функціональних можливостей, які визначають ефективність, гнучкість та надійність управління у заданих умовах. Виділення їх окремо у самостійні характеристики надає можливість проводити їх вимірювання, оптимізацію, враховувати компроміси між ними тощо. Ефективність управління передбачає ступінь досягнення поставлених цілей при мінімально можливих витратах ресурсів. Надійність – це ймовірність того, що система буде функціонувати безвідмовно у заданих умовах за певний період часу, її стійкість до збоїв зв'язку, помилок оброблення даних, ураження пунктів управління тощо. Гнучкість – здатність системи адаптуватися до змінних вимог без істотного зниження якості управління, швидке перепланування операції після появи нової загрози, тобто критична властивість для виживання та успіху в умовах невизначеності [1].

Для утримання оперативної ініціативи і нарощування можливостей дій на випередження система управління угруповання військ (сил) потребує подальшого набуття спроможностей у проактивних діях, тобто здатності зменшувати вплив невизначеностей обстановки шляхом коригування рішень у реальному часі [2].

Інструментом для налаштування і розвитку цих спроможностей є цикл управління, в межах якого формується логіка побудови стійкого механізму функціонування системи в динамічному середовищі за умов множинних невизначеностей оперативної обстановки.

Цикл управління формує основу для набуття таких спроможностей системи через забезпечення безперервного оновлення ситуаційної обізнаності, прогнозування розвитку подій з метою своєчасного коригування рішень у реальному часі, що дає змогу утримувати ініціативу і діяти на випередження навіть в умовах невизначеностей даних. Чим швидше і гнучкіше працює цикл управління, тим більше система здатна діяти проактивно, а не просто реагувати.

В умовах впливу множинних невизначених чинників оперативної обстановки управлінський цикл залежить від рівня його адаптивності, набуває нелінійного характеру і потребує гнучких підходів до ухвалення рішень. Адаптація системи управління реалізується практичним впровадженням математичних методів аналізу невизначеності та алгоритмів

ISSN (print): 2786-9318
ISSN (online): 2786-9326
Military Science. Vol. 4 No.1 (2026)

динамічних систем, що дозволяє оцінювати ризики, покращувати точність рішень та адаптивність системи до змінного середовища. Разом з тим, адаптація – це не лише застосування математичних методів, а й їх інтеграція в алгоритми ухвалення рішень, системи контролю та механізми самонавчання [3, 4].

Ефективність, як ступінь досягнення цілей управління, – це прогнозування ситуації зокрема у формі сценарного планування, що передбачає розгляд та оцінку можливих сценаріїв розвитку ситуації ще до її виникнення, розроблення альтернативних варіантів виконання бойових завдань з урахуванням змінної обстановки, попередню розвідку противника і місцевості для визначення найбільш ефективних варіантів дій [5].

Оцінка сценарію розвитку ситуації, яка в контексті циклу управління відповідає ефективності замислу на застосування сил та засобів у конкретній оперативній обстановці, потребує відповідних критеріїв, які характеризують стан системи у визначений період часу, з метою переходу до пропозицій у випередженні противника та економії ресурсів. Критеріями автономних алгоритмів ухвалення рішень, які визначають його доцільність в умовах множинних невизначеностей оперативної обстановки, можуть бути:

бойовий потенціал підрозділу на момент ухвалення рішення, що виражається у математичному очкуванні втрат, які він може завдати противнику;

можливості для виконання маневру силами, засобами та вогнем;

наявність ресурсів (боєкомплекту, запасів, військово-технічного майна);

ступінь бойової готовності підрозділу до виконання завдання;

ступінь протидії противника, що виражається у математичному очкуванні втрат, які він може завдати нашому підрозділу.

Надійність функціонування системи забезпечується шляхом оцінювання власного стану і обстановки без очікування прямої вказівки зверху, тобто система має правильно оцінити власний стан без спотворення даних, реалістично оцінити загрозу та ступінь тиску з боку противника, гарантувати передачу команд на маневр без затримок чи втрат інформації, облік й обмін даними про наявні ресурси, заснований на реальній інформації, стан техніки, людей, комунікацій, що безпосередньо впливає на правильну оцінку готовності до бою, обрати дію з доступних варіантів. По-іншому, надійність – це якість ситуаційної обізнаності для автономного алгоритму ухвалення рішень [6].

Критично важливу роль у досягненні гнучкості динамічної системи управління відіграє оцінювання параметрів її стану, що безпосередньо впливає на гнучкість динамічної системи, визначаючи її здатність адаптуватися, залишатися стабільною та ефективною в умовах невизначеності. Адаптація до стохастичних змін полягає в оновленні параметрів на основі попереднього досвіду, тобто відбувається самонавчання в умовах змін обстановки [7].

Метою статті є розроблення моделі, яка підвищує спроможності системи управління та забезпечує: моделювання сценаріїв зміни обстановки в умовах невизначеності шляхом мінімізації похибок оцінювання стану системи; стійкість функціонування шляхом урахування множини випадкових чинників, що впливають на параметри стану системи та, відповідно, на досягнення критеріїв ефективності функціонування; запровадження підсистеми зворотного зв’язку для корекції оцінки ефективності ухвалення рішень на основі моніторингу ключових показників ефективності.

Матеріали та методи (Materials and Methods)

Корекція плану застосування сил і засобів у реальному часі при зміні оперативної (тактичної) обстановки передбачає перегляд ризиків і внесення коректив у існуючий план або розроблення нового варіанта дій. На відміну від методу найменших квадратів або методу максимальної правдоподібності, які враховують лише вимірювальну інформацію, що надходить в процесі проведення поточного експерименту, порівняльний аналіз попередніх

ISSN (print): 2786-9318
ISSN (online): 2786-9326
Military Science. Vol. 4 No.1 (2026)

даних та поточної ситуації найбільш адекватно може бути виконаний методом максимальної апостеріорної ймовірності, який для оцінювання параметрів стану динамічної системи враховує апріорну інформацію про ці параметри. Як відомо, він базується на баєсівському підході і знаходить значення параметру, що максимізує апостеріорну ймовірність, тобто знаходить найімовірніші значення параметрів, беручи до уваги як дані поточної обстановки, так і апріорні знання. Однак його ефективність залежить від правильного вибору апріорного розподілу, а також від обчислювальних можливостей для оптимізації складних моделей [8].

Обстановка змінюється нелінійно, невелика зміна положення противника може спричинити радикальні наслідки. Втрата позицій внаслідок вогневого впливу противника може відкрити фланг, створити загрозу прориву, поява нових вогневих засобів у певному районі, навіть тимчасово, може змінити баланс сил і вплинути та темп наступу, дезінформація або відсутність точних даних про противника може призвести до хибного ухвалення рішень.

Таким чином, прагнення до стабільності прогнозу оперативної обстановки обумовлюється тим, що дані, які надходять до органу управління оперативно-тактичним угрупованням, можуть мати фрагментарний або суперечливий характер, змінюватись швидко і непередбачувано, також не всі фактори можливо точно виміряти чи врахувати. Якщо прогноз нестабільний, то навіть незначні зміни вихідних даних будуть приводити до радикально різних прогнозів. Це робить планування дій ненадійним і може призвести до помилок. Стабільний прогноз означає, що командири і штаб будуть ухвалювати рішення на основі гарантованих оцінок, а не постійно переглядати плани, при цьому забезпечується послідовність у діях навіть в умовах невизначеності, менше хаосу при ухваленні рішень [9].

Перевагами методу максимальної апостеріорної ймовірності є можливість урахування багаточисельної кількості невизначених множників оперативної обстановки:

врахування апріорної інформації, попередніх знань, вже відомих статистичних даних, типових сценаріїв розвитку обстановки, ймовірнісних моделей поведінки противника та своїх підрозділів, інтегрування попередніх знань про структуру, функціонування і можливі режими роботи системи, що дозволяє покращити точність оцінювання, тобто забезпечує більш обґрунтоване оцінювання ситуації;

зменшення похибок оцінки та нестабільності, завдяки регуляризації, яка проявляється через урахування апріорної інформації про систему, що “згладжує” оцінки і запобігає їх надмірній залежності від випадкових флуктуацій у даних, оцінка менш чутлива до випадкових або суб’єктивних помилок у вихідних даних, що особливо важливо в умовах, коли дані можуть бути неповними, неточними або суперечливими – як це часто трапляється в реальній бойовій обстановці;

стійкість до переобладнання, оскільки включення апріорних розподілів може запобігти переобладнанню моделі, наприклад, у випадках малої вибірки, коли мала кількість даних, частотні методи часто “перенавчаються” – тобто модель занадто підлаштовується під наявні дані й погано працює на нових (невідомих) даних;

гнучкість, завдяки якій метод може використовуватись для широкого класу задач, включаючи нелінійні системи, де залежності між діями та наслідками складні й не прямі, або нелінійно-гаусові процеси, де шум або невизначеність не підпорядковуються простим нормальним законам.

Урахування великої кількості невизначених множників дозволяє забезпечувати стабільність прогнозу, оскільки він зменшує залежність результату від коливань окремих факторів і в такий спосіб формує узагальнену оцінку стану. Тобто метод не просто “обирає найімовірніший варіант”, а мінімізує чутливість прогнозу до флуктацій в окремих невизначених параметрах. Чим більше множників враховується правильно, тим стійкішим стає результат. Кожен такий фактор може потенційно сильно змінити прогноз, але метод інтегрує інформацію і ймовірнісно “згладжує” вплив окремих нестабільних факторів, завдяки

ISSN (print): 2786-9318
ISSN (online): 2786-9326
Military Science. Vol. 4 No.1 (2026)

чому прогноз стає стійкішим до змін в окремих даних, досягаються умови його стабільності.

Разом із тим, слід врахувати, що метод є чутливим до вибору апріорного розподілу, неправильний вибір якого може негативно вплинути на точність оцінки, якщо він не відповідає дійсності, отримані оцінки можуть бути зміщеними.

Результати та обговорення (Results and Discussions)

У ряді випадків про вектор оцінюваних параметрів $\bar{X}_0$ ще до проведення поточного експерименту є достатньо визначена апріорна інформація. У нашому випадку вектором оцінюваних параметрів буде набір ключових характеристик обстановки, які потрібно знати та оцінити для ухвалення ефективного рішення: відомості про противника, стан своїх військ, характеристика місцевості, метеообстановка, оцінка інфраструктури і логістики тощо. Цю попередню інформацію необхідно враховувати при обробленні результатів вимірювань, які є носіями апостеріорної інформації.

Коректне врахування апріорної інформації про параметри, що оцінюються, дозволяють компенсувати систематичне зміщення оцінок, що виникає в деяких випадках при використанні методу найменших квадратів або методу максимальної правдоподібності. Це можливо досягти в межах методу максимальної апостеріорної імовірності. Метод зсуває оцінку до найбільш правдоподібного апріорного значення, що зменшує зміщення. Наприклад, з метою досягнення точності координат цілі оцінка буде зміщена до району, який вважається найбільш імовірним на основі розвідданих або ймовірностей, що є важливим в системах управління, де рішення залежать від точності оцінки параметрів [10].

З метою оцінювання параметрів ефективності ухваленого рішення на основі спостережень та з урахуванням невизначеності у вимірюваннях розглянемо апостеріорну щільність розподілу параметрів системи управління оперативно-тактичного угруповання.

Припустимо, маємо систему умовних рівнянь:

$$\bar{Z} = \bar{U}(\bar{X}_0, \bar{\theta}) + \bar{h} \tag{1}$$

із заданим розподілом вектора похибок вимірювань:

$$\bar{h} \in p(\bar{h}). \tag{2}$$

Крім того, нехай маємо щільність розподілу імовірностей вектора $\bar{X}_0$:

$$\bar{X}_0 \in P(\bar{X}_0). \tag{3}$$

Необхідно в умовах задачі (1–3) оптимальним чином визначити оцінку $\hat{\bar{X}}_{\text{об}}$ вектора невідомих параметрів. З цією метою представимо умовну щільність імовірностей $\bar{X}_0$ після отримання вибірки $\bar{Z}$ за формулою Баєса

$$P(\bar{X}_0/\bar{Z}) = kP(\bar{X}_0)f(\bar{Z};\bar{X}_0), \tag{4}$$

де $k = (\int_{(k(\bar{X}_0))} P(\bar{X}_0)f(\bar{Z};\bar{X}_0)d\bar{X}_0)^{-1}$ – нормувальний коефіцієнт, який не залежить від вектора $\bar{X}_0$.

Функція (4) є апостеріорною щільністю розподілу імовірностей (рис. 1), тобто:

$$P_{\text{ac}}(\bar{X}_0) = P\left(\frac{\bar{X}_0}{\bar{Z}}\right).$$

Метод оброблення результатів вимірювань із дотриманням умови

$$P_{\text{ac}}\left(\hat{\bar{X}}_{\text{об}}\right) = max(\bar{X}_0)P_{\text{ac}}(\tilde{\bar{X}}_0) \tag{5}$$

$$\{\tilde{\bar{X}}_0\}$$

є методом максимальної апостеріорної імовірності.

Критерієм якості метода є величина апостеріорної щільності розподілу імовірностей

$$f(\tilde{\bar{X}}_0; \bar{Y}) = P_{\text{ac}}(\tilde{\bar{X}}_0). \tag{6}$$

The Central Research institute
of the Armed Forces of Ukraine
ISSN (print): 2786-9318
ISSN (online): 2786-9326
Military Science. Vol. 4 No.1 (2026)

Система екстремальних рівнянь для функції (6) з урахуванням рівності (4) записується у вигляді:

$$\left[\frac{dp(\tilde{\bar{X}}_0)}{d\tilde{\bar{X}}_0}\right]^T f(\bar{Z};\tilde{\bar{X}}_0) + P(\tilde{\bar{X}}_0)\left[\frac{df(\bar{Z};\tilde{\bar{X}}_0)}{d\tilde{\bar{X}}_0}\right] = 0 \qquad (7)$$

Завдяки додатковим членам дані рівняння не вироджуються у випадку лінійної залежності часткових похідних від функції правдоподібності за параметрами, що оцінюються. Таким чином, ліквідується невизначена ситуація, яка виникає у такому випадку в методі максимальної правдоподібності.

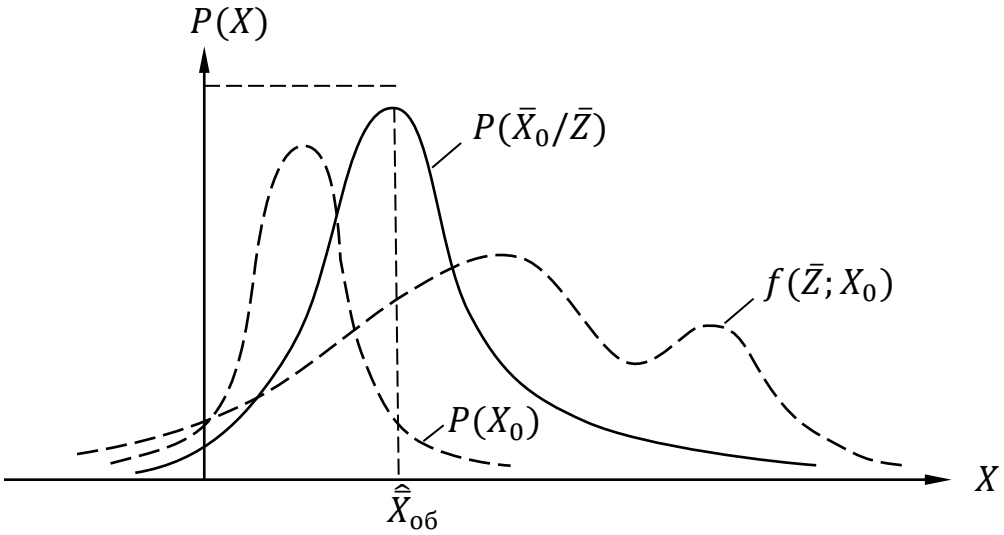


Рисунок 1. Функція апостеріорної щільності розподілу імовірностей

Вектор баєсівських оцінок є випадковим як за рахунок вектора $\bar{Z}$, так і за рахунок вектора $\bar{X}_0$, який належить простору апріорних значень вектора $\bar{X}_0$. У зв'язку з цим оптимальність баєсівських оцінок може розглядатись або на просторі $\sum \bar{Z}$, або на добутку просторів $K(\bar{X}_0)\sum \bar{Z}$. У першому випадку оптимальність оцінок буде умовною або оптимальністю в смислі максимальної правдоподібності. У другому випадку оптимальність оцінок буде безумовною або оптимальністю в середньому.

Апріорна інформація про параметри, що оцінюються, викликає зміщення оцінок відносно дійсних значень параметрів, що оцінюються. Тому баєсівські оцінки в умовному смислі оказуються зміщеними навіть тоді, коли максимально правдоподібні оцінки будуть не зміщеними.

Наявність зміщення у баєсівських оцінок ще не означає зниження їх точності порівняно з оцінками максимальної правдоподібності. Якщо у вимірах є систематична помилка, то зміщення за рахунок апріорної інформації може компенсувати зміщення за рахунок систематичної складової помилки виміру.

Баєсівські оцінки, для яких математичне очікування в безумовному смислі збігається з вектором апріорних математичних очікувань параметрів, що оцінюються, $\bar{m}_{X_0}$, назвемо незміщеними в середньому.

За аналогією з інформаційною матрицею Фішера можливо ввести матрицю для функції $P_{\text{ас}}(\bar{X}_0) = P(\bar{X}_0/\bar{Z})$. Тоді баєсівські оцінки, які мають своєю коваріаційною матрицею матрицю, зворотну до введеної матриці, будуть називатись сумісно ефективними, відповідно, в сенсі максимальної правдоподібності або у середньому.

ISSN (print): 2786-9318
ISSN (online): 2786-9326
Military Science. Vol. 4 No.1 (2026)

Висновок (Conclusion)

У бойовій обстановці рішення залежать від великої кількості змінних: кількості особового складу та його морального стану, темпів просування, погоди, характеру місцевості тощо. Апостеріорний підхід дозволяє об'єднати ці складні фактори в єдину модель ухвалення рішення без необхідності жорсткого спрощення ситуації. Модель дозволяє оновлювати оцінку стану угруповання з урахуванням нових спостережень, правильно поводитись із неповними, шумними та суперечливими даними, адаптивно переоцінювати ймовірності різних варіантів у реальному часі, визначати, де найбільш доцільно посилити оборону чи сконцентрувати резерви.

Під час оцінювання стану підрозділів, ресурсів, ліній зв'язку або активності противника метод апостеріорної ймовірності "довіряє" не лише поточним даним розвідки чи моніторингу, а й враховує попередні знання про типову поведінку противника, відомі особливості місцевості, тактику застосування підрозділів. Якщо розвіддані про розміщення сил противника частково суперечливі, система оцінювання не зробить різких висновків лише на основі нових даних, а "збалансує" їх відповідно до того, що відомо про типові шаблони розміщення сил у подібних ситуаціях. Це зменшує ймовірність помилкової класифікації обстановки або ухвалення ризикованих рішень на основі випадкових чи суб'єктивно спотворених повідомлень.

Досягнення гнучкості реакції циклу управління на множинні невизначені фактори оперативної обстановки передбачає швидку адаптацію, багаторівневий аналіз ризиків, інформаційну перевагу та адаптовані алгоритми управління, що дозволяє мінімізувати втрати, ефективно розподіляти ресурси та зберігати ініціативу в динамічному середовищі бойових дій.

Таким чином, забезпечується гнучкість системи управління оперативно-тактичним угрупованням за рахунок підвищення стійкості оцінок ситуації та надійності ухвалених рішень навіть за умов високої невизначеності й неповноти даних.

Рекомендації (Recommendations)

Використання запропонованої моделі є доцільним для об'єктивної оцінки ймовірності успіху різних сценаріїв на основі доступної розвідувальної інформації. Формування компромісних варіантів рішень передбачає побудову декількох альтернативних планів дій із різним рівнем ризику та ресурсних витрат. Для кожного плану розраховується максимальна апостеріорна ймовірність успіху з урахуванням невизначеностей оперативної обстановки, дій противника, логістики, погодних умов тощо. Матрична оцінка ефективності забезпечує візуалізацію варіантів рішень за критеріями "витрати ресурсів – ймовірність успіху", що дає змогу швидко й об'єктивно виявляти компромісне рішення. Компромісним рішенням є найвища відносна апостеріорна ймовірність успіху за умови допустимих витрат ресурсів.

Запровадження динамічної моделі, яка дозволяє оновлювати вихідні ймовірності у реальному часі та коригувати наміри під час бойових дій, сприятиме швидкій адаптації та автономності в ухваленні рішень, що є важливим для динамічного бойового управління. Ініціативність та автономія командирів стали критичним фактором успіху. В умовах сучасної війни командири низового рівня отримують більше свободи в ухваленні тактичних рішень, це дозволяє швидко впливати на зміни бойової обстановки.

Перехід на адаптивні, матричні та децентралізовані структури управління значно підвищує їх боєздатність, маневреність і стійкість, але потребує модернізації систем зв'язку і управління, а також зміни доктринальних підходів до ведення бойових дій.

Здатність до проактивного управління силами і засобами під час проведення операції передбачає використання автоматизованих систем для оперативного аналізу даних і ухвалення рішень у реальному часі, здійснення маневру на випередження з метою забезпечення кращих позицій або уникнення загроз, оптимальний розподіл ресурсів на основі прогнозованого розвитку подій, використання інтелектуальних систем аналізу для виявлення ранніх ознак змін в обстановці та негайного реагування.

ISSN (print): 2786-9318
ISSN (online): 2786-9326
Military Science. Vol. 4 No.1 (2026)

Результатом адаптивної реакції є мінімізація ефекту “туману війни” за рахунок об’єднання інформації з різних сенсорів, управління не втрачається навіть за умов активної дії засобів РЕБ противника та хаотичних бойових дій.

Конфлікт інтересів (Conflict of Interest)
Автор заявляє, що у нього немає конкуруючих інтересів за тематикою статті.

Використані джерела

1. Кучеренко, Ю., Носик, А., Ткачов, А., & Шубін, С. (2019). Визначення ефективності функціонування системи управління військового призначення з врахуванням вагомості, своєчасності та якості виконання завдань у підсистемах. *Зб. наук. пр. Харківського національного ун-ту Повітряних Сил, 4* (62), 53–60. https://doi.org/10.30748/zhups.2019.62.07.
2. Кучеренко, Ю., Носик, А., Камак, Д., & Возний, О. (2024). Мережецентрична система управління і її вплив на бойові можливості міжвидового угруповання. *Науково-технічний журнал Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, 1* (3), 52–58.
3. Гриб, Д., Демідов, Б., Борисенко, М., & Кузнєцова, М. (2019). Інформатизація управління структурною динамікою складних багато структурних систем військового призначення при динамічній зміні обстановки в районі ведення бойових дій. *Зб. наук. пр. Харківського національного ун-ту Повітряних Сил.* https://doi:10.30748/ zhups.2019.60.01.
4. Гриб Д., Демідов Б., Хмелевський, С., & Матющенко, О. (2019). Інтелектуальні технології у задачах управління структурною динамікою складних багато структурних систем військового призначення. *Системи обробки інформації, 3* (158), 15–26. https://doi: 10.30748/soi.2019.158.02.
5. Гавриленко, А. (2024). Ефективність функціонування системи підтримки прийняття рішень органів військового управління на основі сучасних інформаційно-аналітичних технологій (2024). *Науково-технічний журнал Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки*, *2* (4), 40–44.
6. Гриб, Д. А., Демідов, Б. О., Кучеренко, Ю. Ф., Ткачов, А. М., & Шубін, Є. В. (2019). Принципи, методи і технології моделювання і дослідження процесів функціонування складних багатоструктурних систем військового призначення і управління їх структурною динамікою. *Системи обробки інформації, 1* (156), 64–73. https://doi.org/ 10.30748/soi.2019.156.09.
7. Калініна, І. О., Гожий, О. П., Нечахін, В. В., & Шиян, С. І. (2022) Імітаційне моделювання систем зі складним стохастичним процесом обробки даних за допомогою кольорових мереж Петрі. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. *Системні технології, 6* (143), 42–56. https://doi.org/10.34185/1562-9945-6-143-2022-04.
8. Дебела, І. М. (2021). Байєсовський метод оцінки альтернативних рішень. *Таврійський науковий вісник. Серія: Економіка, 8*. https://doi.org/10.32851/2708-0366/2021.8.11.
9. Гудима, О. П. (2021). Удосконалення математичної моделі прогнозування та виявлення кризових ситуацій. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України, 1* (42), 126–130. https://doi:10.30748/nitps.2021.42.16.
10. Бідюк, П. І., & Гожий, О. П. (2014). *Ймовірнісно-статистичні методи моделювання і прогнозування.*

References

1. Kucherenko, Yu., Nosyk, A., Tkachev, A., & Shubin, S. (2019). Determining the effectiveness of the functioning of the military mission control system taking into account the importance, timeliness and quality of task performance in subsystems. *Collection of scientific papers of the Kharkiv National University of the Air Force, 4* (62), 53–60. https://doi.org/10.30748/

ISSN (print): 2786-9318
ISSN (online): 2786-9326
Military Science. Vol. 4 No.1 (2026)

zhups.2019.62.07.
2. Kucherenko, Yu., Nosyk, A., Kamak, D., & Voznyi, O. (2024). Network-centric control system and its impact on the combat capabilities of an inter-service group. *Scientific and technical journal of the State Research Institute for Testing and Certification of Armaments and Military Equipment, 1* (3), 52–58.
3. Hryb, D., Demidov, B., Borisenko, M., & Kuznetsova, M. (2019). Informatization of structural dynamics management of complex multi-structural military systems during dynamic changes in the situation in the area of combat operations. *Collection of scientific papers of the Kharkiv National University of the Air Force.* https://doi:10.30748/ zhups.2019.60.01.
4. Hryb D., Demidov B., Khmelevsky S., & Matyushchenko O. (2019). Intelligent technologies in the tasks of controlling the structural dynamics of complex multi-structural systems of military purpose. *Information Processing Systems, 3* (158), 15–26. https://doi:10.30748/ soi.2019.158.02.
5. Gavrylenko, A. (2024). The effectiveness of the functioning of the decision-making support system of military management bodies based on modern information and analytical technologies (2024). *Scientific and technical journal of the State Research Institute for Testing and Certification of Armaments and Military Equipment, 2* (4), 40–44.
6. Hryb, D. A., Demidov, B. O., Kucherenko, Y. F., Tkachev, A. M., & Shubin, E. V. (2019). Principles, methods and technologies of modeling and research of the processes of functioning of complex multi-structured systems of military purpose and control of their structural dynamics. *Information processing systems, 1* (156), 64–73. https://doi.org/10.30748/soi.2019. 156.09.
7. Kalinina, I. O., Gozhyy, O. P., Nechakhin, V. V., & Shiyan, S. I. (2022). Simulation modeling of systems with a complex stochastic data processing process using colored Petri nets. *Regional interuniversity collection of scientific papers. System technologies, 6* (143), 42–56. https://doi.org/10.34185/1562-9945-6-143-2022-04.
8. Debela, I. M. (2021). Bayesian method for evaluating alternative solutions. *Tavria Scientific Bulletin. Series: Economics, 8.* https://doi.org/10.32851/2708-0366/2021.8.11.
9. Hudyma, O. P. (2021). Improving the mathematical model of forecasting and detecting crisis situations. *Science and Technology of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine, 1* (42), 126–130. https://doi:10.30748/nitps.2021.42.16.
10. Bidyuk, P. I., & Gozhy, O. P. (2014). *Probabilistic and statistical methods of modeling and forecasting.*

A model for enhancing the flexibility of the command cycle of an operational-tactical formation under conditions of multiple operational uncertainties

Vadym Klymenko
Candidate of Military Sciences, Associate Professor
Doctoral student of the scientific and organizational department
The Central Research Institute of the Armed Forces of Ukraine
03049, Povitrianykh Syl avenue, 28 B, Kyiv, Ukraine
e-mail: vadymklymenko@ukr.net
ORCID: 0000-0001-9144-2362

Abstract. The relevance of the researched problem lies in the need for the further development of the command and control system of military groupings, specifically in enhancing its capacity for proactive actions that reduce the impact of situational uncertainties through real-time decision adjustments. The primary mechanism for shaping and improving these capabilities is the command cycle, within which the logic of a resilient functioning mechanism in a dynamic operational

ISSN (print): 2786-9318
ISSN (online): 2786-9326
Military Science. Vol. 4 No.1 (2026)

environment is formed. Under the influence of multiple uncertainties, the command cycle becomes dependent on its level of adaptability, takes on a nonlinear character, and requires flexible approaches to decision-making. Adaptation of the command and control system is achieved through the practical implementation of mathematical methods for uncertainty analysis and dynamic systems algorithms. This enables risk evaluation, improved decision accuracy, and system adaptability to a changing environment. Adaptation involves not only the use of mathematical tools but also their integration into decision-making algorithms, control systems, and self-learning mechanisms. The objective of this article is to develop a model that enhances the capabilities of the command and control system and ensures the following: scenario modeling of environmental changes under conditions of uncertainty by minimizing errors in the assessment of system state; resilient functioning through the consideration of multiple random factors influencing the system state parameters and the achievement of operational effectiveness criteria; and the introduction of a feedback subsystem to correct the assessment of decisions based on the monitoring of key performance indicators. The article focuses on identifying mathematical methods that contribute to the stability of forecasting the operational environment, provide the commander and staff with the means to make decisions based on reliable estimates, and ensure consistent actions in the presence of extensive data uncertainty. The article employs scientific approaches that allow for real-time adjustment of the plan for deploying forces and assets in response to changes in the operational or tactical situation. These approaches include the re-evaluation of risks and adjustment of the existing plan or development of a new course of action. Unlike the least squares method or the maximum likelihood method, which consider only the measurement data obtained during the ongoing process, a comparative analysis of previous data and the current situation can be most effectively conducted using the method of maximum a posteriori probability. This method estimates the parameters of the state of a dynamic system by incorporating prior knowledge about those parameters. Based on the Bayesian approach, it identifies the parameter values that maximize the posterior probability—thus determining the most likely parameter values by taking into account both real-time data and prior information. The main results of the article include enhancing the adaptability of the command cycle for operational and tactical groupings, which enables timely adjustments of force employment plans in real time. The article outlines the characteristics that determine the capabilities of the command and control system depending on its current state, and proposes a model for optimizing its performance by increasing the flexibility of the command cycle under conditions of multiple operational uncertainties. Adaptation of the model to stochastic changes in data is achieved by updating its parameters based on prior experience using the method of maximum a posteriori probability. Proposals for making balanced and compromise-oriented management decisions are also provided. The practical value of the obtained results lies in the applicability of the proposed model for objectively assessing the probability of success across various scenarios, based on available intelligence information. The formation of compromise decision options involves constructing several alternative courses of action, each with different levels of risk and resource expenditure.

Keywords: command cycle, evaluation of command and control system effectiveness, system state parameters, method of maximum a posteriori probability.