

*Фурманов Костянтин Віталійович* (кандидат військових наук, старший науковий співробітник)

*Гутченко Олег Андрійович* (кандидат військових наук, старший дослідник)

*Гутченко Катерина Сергіївна* (кандидат медичних наук)

*Центральний науково-дослідний інститут Збройних Сил України, Київ, Україна*

## ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ПОБУДОВИ БАГАТОПІДХІДНОЇ МОДЕЛІ ПІДТРИМКИ УГРУПОВАННЯ ВІЙСЬК НА ОСНОВІ СИСТЕМНОЇ ДИНАМІКИ ТА АГЕНТНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Одним із проблемних питань, яке набуло своєї актуальності під час російсько-української війни перед Збройними Силами України, є підвищення ефективності функціонування системи підтримки угруповань військ. Система підтримки має відповідати науково обґрунтованим вимогам. Тому виникла необхідність вирішити завдання, що пов'язане з побудовою відповідної математичної моделі. Мета статті: розкриття основних положень побудови багатопідхідної моделі підтримки угруповань військ на основі системної динаміки та агентного підходу до моделювання. Методи дослідження: у статті розглянуто основні положення побудови багатопідхідної моделі підтримки угруповання військ, для якої використано підходи системно-динамічних та агентного підходу, що дає змогу комплексно врахувати різноманітні фактори, що впливають на цей процес. Аналіз моделей, що описані та використані у дослідженнях і публікаціях, свідчить про їх відокремлене розроблення і неможливість їх об'єднання, а також встановлення між ними взаємозв'язку для відображення сукупності складних взаємопов'язаних процесів підтримки військ у динаміці. На сьогоднішній день практичні аспекти створення системно-динамічних та агентних моделей підтримки угруповань військ, де розглядалися її складові, майже не відображені у спеціальній літературі. Запропонована математична модель підтримки угруповання військ на основі системної динаміки оперує агрегованими показниками та множиною взаємодіючих зворотних зв'язків, які зумовлюють різного роду «затримки». Модель описує залежності між визначеними, за термінологією системної динаміки, накопичувачем і потоками, що змінюють стан цього накопичувача, а також динамічними змінними та параметрами, що визначають вплив різних факторів на потоки. Як накопичувач запропоновано розглядати рівень боєздатності військ, який пов'язаний з її складовими через множинну динамічних змінних, що відображають зміну величини цих складових у часі. Одними з таких динамічних змінних є змінні, що характеризують стан видів підтримки військ і в межах загальної багатопідхідної моделі розглядаються як агентні моделі. Науковою новизною є запропоноване комплексне поєднання системної динаміки та агентного підходу до моделювання в межах багатопідхідної моделі системи підтримки угруповання військ з метою обґрунтування вимог до неї. Теоретична та практична значущість роботи: розробка положень побудови багатопідхідної моделі для дослідження підтримки угруповання військ, де використовуються такі сучасні парадигми імітаційного моделювання як системна динаміка та агентний підхід. Перспектива подальших досліджень: розроблення багатопідхідної моделі підтримки угруповань військ на основі системної динаміки та агентного підходу до моделювання, а також продовження роботи щодо підвищення ступеня адекватності моделі під час її розроблення.

**Ключові слова:** багатопідхідна модель, підтримка військ, системна динаміка, агентний підхід, моделювання.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Одним із важливих питань, яке постало та потребує свого вирішення за досвідом ведення воєнних дій під час відбиття широкомасштабної збройної агресії російської федерації, є впровадження у перспективній структурі Збройних Сил України (далі – ЗС України) дієвої системи підтримки угруповань військ. Функціонування такої системи вважається важливим чинником створення сприятливих умов

для успішної підготовки та ведення сучасних операцій (бойових дій), ефективного застосування військ (сил), збереження їх боєздатності та зниження ефективності застосування військ (сил) і зброї противника. В умовах існуючих ресурсних обмежень ЗС України, вимоги до перспективної системи підтримки угруповань військ повинні бути науково обґрунтовані, що в подальшому, за їх комплексної реалізації, дасть змогу силам і засобам підтримки військ успішно виконувати свої завдання за призначенням.

Під час такого науково обґрунтування виникає необхідність вирішити завдання, що пов'язане з побудовою відповідної математичної моделі, використання якої дозволить сформулювати вимоги до складових процесу підтримки військ, а також оцінити зміни його показників ефективності внаслідок впливу різних позитивних чи негативних факторів. Модель процесу підтримки військ має відображати всю сукупність взаємопов'язаних його складових в динаміці, а також враховувати велику кількість різнорідних факторів, що впливають на цей процес. Тобто, дана модель має створюватися як імітаційна модель, що передбачає визначення множини правил, які формалізують процеси функціонування системи підтримки військ та її переходів з одного стану у часі в інший.

Одним із напрямів моделювання процесу підтримки угруповань військ в операціях (бойових діях), який відповідатиме зазначеним вище умовам, є, на думку автора, саме створення і використання багатопідхідної імітаційної моделі на основі комплексного поєднання положень системної динаміки та агентного підходу до моделювання.

Отже, важливим та актуальним завданням є розроблення багатопідхідної моделі, застосування якої дасть змогу:

визначити ступінь впливу, що здійснюють на процес підтримки угруповань військ, зміни характеристик її складових;

врахувати під час досліджень вплив різнорідних факторів, які раніше не розглядали чи спростовували;

врахувати складність, характеристики видів підтримки та оцінити їх вплив на виконання завдань угрупованнями військ в операціях (бойових діях);

проводити дослідження системи підтримки військ у широкому діапазоні умов її функціонування з метою обґрунтування вимог до цієї системи.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Застосовуючи існуючі підходи [1–11] до дослідження складових системи підтримки угруповань військ (інженерної підтримки (далі – П), геопросторової підтримки (далі – ГП), гідрометеорологічної підтримки (далі – ГМ), хімічного, біологічного, радіологічного та ядерного (далі – ХБРЯ) захисту), які в основному базуються на результатах експертного оцінювання, статистичних даних або спрощених аналітичних залежностях і стосуються окремих видів підтримки військ, не можна в повній мірі охопити цей реальний процес у цілому. Тож постало питання щодо їх удосконалення. Зокрема, аналіз моделей, що описані та використані у методиках, свідчить про їх відокремлене розроблення і неможливість їх об'єднання, а також встановлення між ними взаємозв'язку для відображення сукупності складних взаємопов'язаних процесів підтримки військ у динаміці.

На сьогоднішній день практичні аспекти створення системно-динамічних та агентних моделей підтримки угруповань військ, де б розглядалися зазначені вище її складові, майже не відображені у спеціальній літературі.

З огляду на зазначене вище, розкриття основних положень побудови багатопідхідної моделі підтримки угруповань військ на основі системної динаміки та агентного підходу до моделювання є актуальним науковим завданням.

**Мета статті** полягає в розкритті основних положень побудови багатопідхідної моделі підтримки угруповань військ на основі системної динаміки та агентного підходу до моделювання.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Метою функціонування системи підтримки угруповань військ є створення сприятливих умов для забезпечення успішної підготовки і ефективного застосування їх сил і засобів, озброєння і військової техніки та збереження їхньої боєздатності під час виконання визначених завдань [12]. Проведення досліджень цієї системи з урахуванням визначеної мети її функціонування передбачає вибір методу (підходу) моделювання, який буде залежати від завдання, що розв'язується, та цілей, які необхідно досягти [13]. Але не всі завдання можна розв'язати з використанням тільки одного методу (підходу), часто необхідно їх комбінувати у межах однієї моделі, щоб досягти бажаного результату. Тому, за задумом авторів, можна вести мову про багатопідхідне моделювання як опис системи, за якого використовується більше одного з методів (підходів) моделювання. Наприклад, якщо завдання полягає у детальному моделюванні виконання завдань в межах окремого виду підтримки (П, ГП ГМ, ХБРЯ захисту), то може бути досить одного агентного або дискретно-подвійного підходу [13]. Але якщо розглядати збереження боєздатності військ у цілому, що забезпечується завдяки функціонуванню багатьох взаємопов'язаних складових і характеризуються складними причинними параметричними залежностями на основі прямих та зворотних зв'язків між змінними, що виділені в загальній системі, то доцільно застосовувати моделювання на основі системної динаміки.

Таке використання різних методів (підходів) моделювання дозволяє простіше описувати різні частини загальної моделі підтримки військ. Отже, у цілому можна зазначити, що необхідність у багатопідхідному, багаторівневому моделюванні з'являється тоді, коли потрібно розв'язати не локальне завдання, а подивитися на проблему, що досліджується, ширше й розв'язати її комплексно.

На рис. 1 наведена блок-схема загальної математичної моделі підтримки угруповання військ, складові якої в комплексі реалізують багатопідхідне моделювання.

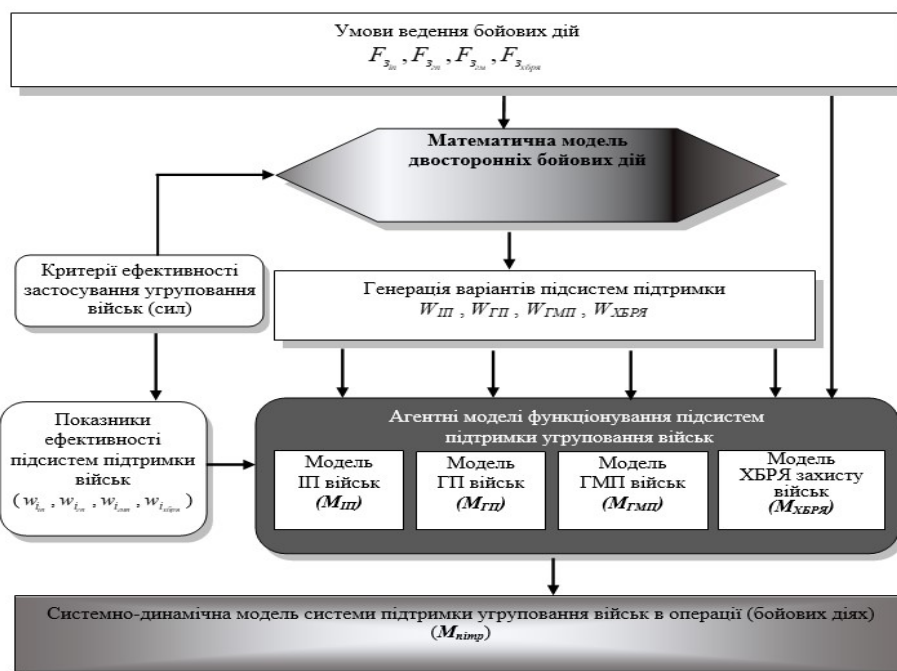


Рисунок 1 – Блок-схема загальної математичної моделі підтримки угруповання військ, яка реалізується багатопідхідним моделюванням

У загальному вигляді математичну модель підтримки (далі – МпІтр) угруповання військ можна записати як:

де  $M_{CD}$  – системно-динамічна модель підтримки угруповання військ;

$W_{CD}$  – факторний простір залежних змінних моделі, який може мати будь-яку складну природу, що визначається структурою моделі і особливостями підтримки угруповань військ;

$Y$  – факторний простір зовнішнього середовища, де  $y_i \in Y (i=1,2,\dots,n)$  – вектори невизначених параметрів, що характеризують умови функціонування системи підтримки угруповання військ;

$Z$  – факторний простір векторів системи противника, де  $z_i \in Z (i=1,2,\dots,n)$  – вектори

від їх векторів параметрів  $(w_{i_{in}} = f(\bar{x}_{i_{in}}), w_{i_{op}} = f(\bar{x}_{i_{op}}), w_{i_{sm}} = f(\bar{x}_{i_{sm}}), w_{i_{xbrja}} = f(\bar{x}_{i_{xbrja}}), i=1,2,\dots,n)$ ;

$F_{6_{in}}, F_{6_{op}}, F_{6_{sm}}, F_{6_{xbrja}}$  – вектори ендогенних факторів, що впливають на ІІ, ГП, ГМП, ХБРЯ захист відповідно;

$F_{3_{in}}, F_{3_{op}}, F_{3_{sm}}, F_{3_{xbrja}}$  – вектори екзогенних факторів, що впливають на ІІ, ГП, ГМП, ХБРЯ захист відповідно.

Як відомо, предметом моделювання у системній динаміці, є взаємопов'язані підсистеми, які характеризуються складними причинними параметричними залежностями на основі прямих та зворотних зв'язків між змінними, що виділені в загальній системі [13]. Модель підтримки угруповання військ на основі системної динаміки передбачає абстрагування від окремих об'єктів (елементів) системи і подій, що розглядається, та оперує лише їх кількостями, агрегованими показниками та множиною взаємодіючих позитивних (негативних) зворотних зв'язків, які зумовлюють різного роду «затримки». Така модель описує залежності між визначеними, за термінологією системної динаміки, накопичувачами та потоками, що змінюють стан цих накопичувачів, а також динамічними змінними і параметрами, що визначають вплив різних факторів на потоки.

На рис. 2 наведено структурну схему системно-динамічної моделі підтримки угруповання військ за визначеними її видами, що пропонується. Дану модель розроблено в середовищі імітаційного моделювання «Any Logic 8.5.2».

$$M_{nimpr} = \left\{ \begin{array}{l} M_{CD}(W_{CD}, Y, Z), \\ M_{III}(W_{III}(w_{i_{in}}), F_{6_{in}}, F_{3_{in}}), \\ M_{GP}(W_{GP}(w_{i_{op}}), F_{6_{op}}, F_{3_{op}}), \\ M_{GMP}(W_{GMP}(w_{i_{sm}}), F_{6_{sm}}, F_{3_{sm}}), \\ M_{XBRJA}(W_{XBRJA}(w_{i_{xbrja}}), F_{6_{xbrja}}, F_{3_{xbrja}}) \end{array} \right\}$$

параметрів дій противника;

$M_{III}, M_{GP}, M_{GMP}, M_{XBRJA}$  – агентні моделі ІІ, ГП, ГМП, ХБРЯ захисту відповідно;

$W_{III}, W_{GP}, W_{GMP}, W_{XBRJA}$  – інтегральні показники ефективності функціонування підсистем ІІ, ГП, ГМП, ХБРЯ захисту відповідно;

$w_{i_{in}}, w_{i_{op}}, w_{i_{sm}}, w_{i_{xbrja}}$  – часткові показники ефективності функціонування підсистем ІІ, ГП, ГМП, ХБРЯ захисту відповідно, які є функціями

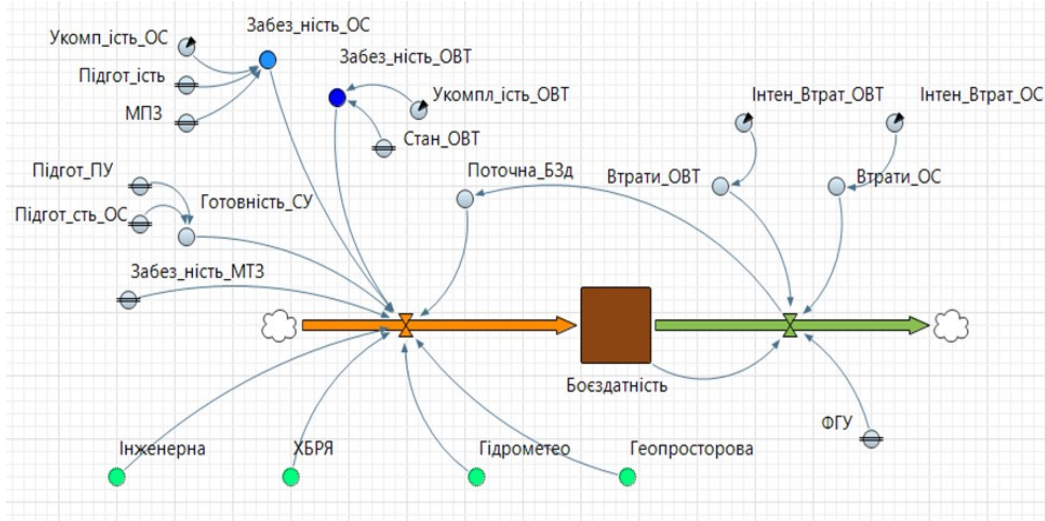


Рисунок 2 – Структурна схема системно-динамічної моделі в середовищі імітаційного моделювання «Any Logic 8.5.2»

Побудова такої моделі передбачає певну послідовність дій з метою забезпечення необхідного ступеня її відповідності реальному процесу функціонування системи підтримки угруповання військ (її мета, завдання, показники ефективності, параметри).

Так, спочатку забезпечення боездатності процес підтримки угруповання військ подається у вигляді логічних діаграм, що відбивають причинно-наслідкові зв'язки між її складовими, які потім перетворюються в елементи моделі, зображену графічними засобами. Далі ця модель автоматично перетворюється на її математичний аналог – систему диференціальних рівнянь, яка вирішується числовими методами, вбудованими в середовище моделювання. У подальшому отримане рішення подається у вигляді графіків і таблиць, які піддаються критичному аналізу. У результаті модель переглядається (змінюються параметри складових, додаються нові динамічні змінні, встановлюються нові або змінюються зв'язки, що існували раніше, тощо), після чого модель знову аналізується, поки вона не стане в достатній мірі відповідати реальній ситуації з підтримки угруповання військ.

Далі, коли модель побудована, в ній виділяються керовані (що оптимізуються) параметри і обираються такі значення цих параметрів, при яких залежні змінні моделі (показники ефективності підтримки військ) максимізуються або мінімізуються залежно від їх фізичного змісту.

За накопичувач в моделі, що розглядається, прийнято рівень боездатності угруповання військ. Стан цього елемента моделі задається відповідним диференціальним рівнянням, до правої частини якого включено вхідний потік, що збільшує значення накопичувача і, відповідно, додається, а значення вихідного потоку, відповідно, віднімається. З огляду на відомі складові боездатності [14; 15] запропоновано вхідний потік

формувати такими динамічними змінними, як забезпеченість особовим складом (далі – ОС) (укомплектованість ним, його підготовленість та морально-психологічний стан (далі – МПЗ)), забезпеченість озброєнням та військовою технікою (далі – ОБТ) (укомплектованість та їх стан), матеріально-технічними засобами (далі – МТЗ) та готовність системи управління (ступінь підготовленості оперативного складу та пунктів управління (далі – ПУ)). Також, складовими, які здійснюють вплив на вхідний потік будуть динамічні змінні, які характеризують стан видів підтримки військ, тобто ІП, ГМ, ГП та ХБРЯ захисту.

Вихідний потік формується динамічними змінними, які характеризують втрати особового складу, ОБТ, а параметрами цих змінних будуть їх відповідні інтенсивності. При цьому, також, на вихідний потік (зменшення боездатності) впливатимуть фізико-географічні умови, які задаються відповідною змінною.

У системно-динамічній моделі види підтримки угруповання військ враховані через динамічні змінні, кожна з яких характеризує ефективність виконання завдань ІП, ГМ, ГП та ХБРЯ захисту відповідними силами і засобами цих видів. Ці змінні реалізовані на основі агентної моделі. Відомо [13], що основним поняттям в агентній моделі є агент, що має набір параметрів, які, по суті, є кількісними характеристиками його стану, а також набір правил, які визначають миттєвий перехід з одного стану в інший, що й здійснює взаємодію з іншими агентами й зміну при цьому властивостей і лінії поведінки агента.

Поведінка агента описується за допомогою так званих карт станів (рис. 3). Карта станів являє собою орієнтований граф  $G = (S, V)$ , у якому безліч вершин  $S_i$  – це стани агента, перебуваючи в яких він виконує той або інший набір дій, а безліч дуг  $V_i$  – це події, які переводять агента з одного стану в інше.

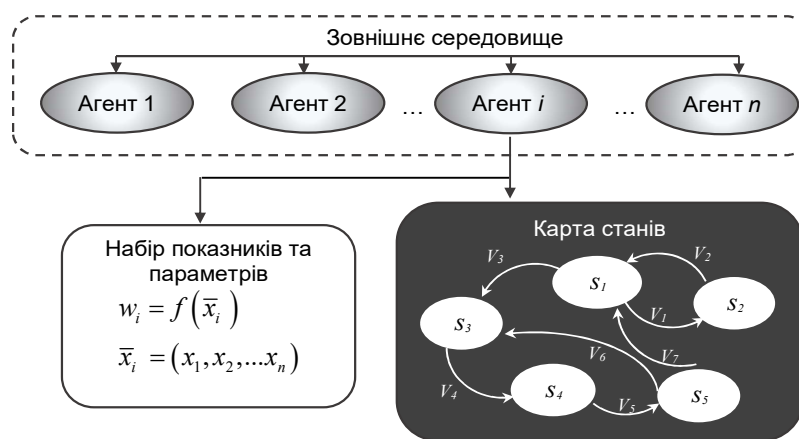


Рисунок 3 – Формалізація виконання завдань силами і засобами підтримки на основі агентного підходу

Доцільність використання саме агентного підходу для моделювання функціонування сил і засобів підтримки військ зумовлена загальною тенденцією їх застосування під час відбиття широкомасштабної збройної агресії російської федерації [15], яка характеризується формуванням в умовах обмеженого ресурсу зведених груп (загонів) за видами підтримки військ для виконання завдань за призначенням на визначеній кількості загрозливих напрямків, що забезпечує більш високу (порівняно із штатними підрозділами підтримки видів ЗС України) оперативність їх маневру та застосування. Такі групи можуть розглядатися як агенти.

### Висновки й перспективи подальших досліджень

У статті розглянуто основні положення побудови багатопідхідної моделі підтримки

угруповання військ, для якої використано підходи системної динаміки та агентного підходу. Застосування запропонованої моделі дасть змогу проводити дослідження з метою визначення ступеню впливу змін характеристик складових процесу підтримки угруповань військ, що здійснюють на цей процес загалом, а також обґрунтування вимог до системи підтримки військ з врахуванням великої кількості різнорідних факторів, які раніше не розглядали чи спростовували.

Перспективою подальших досліджень слід вважати розроблення багатопідхідної моделі підтримки угруповань військ на основі системної динаміки та агентного підходу до моделювання, а також продовження роботи щодо підвищення ступеню адекватності моделі у процесі її розроблення.

### Список бібліографічних посилань

1. Лісневський В. Система інженерних загороджень армії. Київ : АЗСУ, 1996. 18 с.
2. Мацько О. До питання визначення внеску факторів в ефективність виконання заходів протиміної діяльності в Україні. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України: щокв. наук. журн. ХУПС*. 2021. Т. 44, № 3. С. 154–158.
3. Черних І., Коцюрuba В., Філь В. Оперативні розрахунки завдань інженерного забезпечення. Методика та приклади. Київ : НУОУ, 2016. 152 с.
4. Коцюрuba В. Методика раціонального розподілу інженерного ресурсу для підсилення загальновійськових підрозділів бригади з врахуванням їх важливості. *Труди академії*. 66-те вид. Київ, 2006. С. 187–191.
5. Кізяк Я. Методика оцінки ефективності забезпечення подолання мінно-вибухових загороджень на шляхах руху військ в операції угруповання ОСШР. *Труди університету*. 2013. Т. 117, № 3. С. 92–97.
6. Волощенко О. Методика визначення раціонального складу сил і засобів інженерного забезпечення для ефективного виконання інженерних заходів захисту об'єктів військ від високоточної зброї. *Зб. наук. пр. ЦНДІ ЗС України*. 2012. Т. 62, № 4. С. 180–188.
7. Оперативні розрахунки завдань інженерного забезпечення. Методика та приклади. Київ : НУОУ ім. Ів. Чернях., 2015. 143 с.
8. Гутченко О. Методика оцінювання ефективності захисту військ від розвідувально-ударних безпілотних літальних апаратів силами і засобами аерозольного маскування. *Зб. наук. пр. ЦНДІ ЗС України*. 2023. Т. 106, № 3. С. 247–254.
9. Петрушенко М. Застосування аерозольних утворень для захисту військових об'єктів від ударів літаків тактичної авіації: метод. посібн. Вінниця-Харків : ХНУПС, 2012. 127 с.
10. Зотов С. Методика розподілу сил топогеодезичного забезпечення оперативно-тактичного угруповання військ в оборонній операції за завданнями з максимізацією оперативності. *Зб. наук. праць. Труди університету. НУОУ ім. Івана Черняхівського*. 2018. Т. 146, № 1. С. 65–75.
11. Булгаков А. Удосконалена методика обґрунтування складу сил і засобів топогеодезичного забезпечення військ оперативного командування у мирний час. *Зб. наук. пр. ЦВСД НУОУ імені Івана Черняхівського*. 2021. Т. 73, № 3. С. 116–123.
12. ВКП 10-00(16).01. Доктрина Командування Сил підтримки Збройних Сил України. Вид. офіц. Командування Сил підтримки Збр. Сил України спільно з Нац. ун-том оборони України ім. Ів. Чернях., 2020. 57 с.
13. Multimethod approach to simulate. 2024. URL: <https://www.anylogic.com/blog/accelerate-enterprise-digital-transformation-with-unmatched-simulation-tools/> (дата звернення: 22.05.2024).
14. Математичні основи теорії утримання військ за ступенем їх готовності: Монографія / І. Романченко та ін. Київ : ЦНДІ ЗС України, 2019. 220 с.
15. Досвід застосування частин і підрозділів Сил підтримки Збройних Сил України в умовах широкомасштабної агресії російської федерації проти України. Київ : ЦНДІ ЗС України, 2022. 132 с.

## BASIC PRINCIPLES OF BUILDING A MULTI-APPROACH MODEL OF SUPPORT FOR A GROUP OF TROOPS BASED ON SYSTEM DYNAMICS AND AGENT MODELLING

*Furmanov Kostiantyn (Candidate of Military Science, Senior Researcher)*

*Hutchenko Oleh (PhD in Military Science, Senior Researcher)*

*Hutchenko Kateryna (Candidate of Medical Science)*

*Central Research Institute of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

**Formulation of the problem in general.** One of the problematic issues that the Armed Forces of Ukraine faced during the russian-ukrainian war was to improve the efficiency of the system of support for troop groups. The support system must meet scientifically sound requirements. Therefore, there was a need to solve the problem associated with the construction of an appropriate mathematical model.

**Research methods.** The article considers the main provisions of building a multi-approach model of support for a group of troops, for which the approaches of system-dynamic and agent-based approaches are used, which allows to comprehensively take into account the heterogeneous factors that influence this process.

**Analysis of recent researches and publications.** The analysis of the models described and used in research and publications shows that they were developed separately and cannot be combined, nor can they be interconnected to reflect a set of complex interrelated processes of troop support in dynamics. To date, the practical aspects of creating system-dynamic and agent-based models of troop support, where its components are considered, are almost not reflected in the special literature.

**Presenting the main material.** The proposed mathematical model of troop group support based on system dynamics operates with aggregated indicators and a set of interacting feedbacks that cause various kinds of "delays". The model describes the dependencies between the accumulator, defined in the terminology of system dynamics, and the flows that change the state of this accumulator, as well as the dynamic variables and parameters that determine the impact of various factors on the flows. The author proposes to consider the level of combat capability of troops as a storage device, which is related to its components through a set of dynamic variables that reflect the change in the value of these components over time. One of such dynamic variables is the variables that characterise the state of the types of troop support and are considered as agent models within the general multi-approach model.

**Elements of scientific novelty.** The scientific novelty is the proposed integrated combination of system dynamics and agent-based modelling within the framework of a multi-approach model of the troop support system in order to substantiate the requirements for it.

**Theoretical and practical significance of the article:** development of provisions for building a multi-approach model for studying the support of a group of troops, using such modern simulation modelling paradigms as system dynamics and agent-based approach.

**Conclusion and the perspectives of future researches:** development of a multi-approach model for supporting troop groups based on system dynamics and an agent-based modelling approach, as well as continuing work to improve the model's adequacy in the course of its development.

**Keywords:** multi-approach model, troop support, system dynamics, agent-based approach, modelling.

## References

1. Lisnevsky, V. V., (1996). System of engineering barriers of the army, AAFU, Kyiv, 18 p.
2. Matsko, O. Y., (2021). On the issue of determining the contribution of factors to the effectiveness of mine action measures in Ukraine, *Science and Technology of the Air Forces of the Armed Forces of Ukraine*: quarterly scientific journal, KhUPS, Kharkiv, 44, 3.
3. Chernykh, I. V., Kotsiuruba, V. I., Fil, V. M., (2016). Operational calculations of engineering support tasks. Methods and examples, NUOU, Kyiv.
4. Kotsiuruba, V. I., (2006). Methodology of rational distribution of engineering resources to strengthen the brigade's combined arms units, taking into account their importance. Academy Proceedings, Kyiv, 66.
5. Kiziak, Y. O., (2013). Methodology for assessing the effectiveness of ensuring the overcoming of minefields on the routes of movement of troops in the operation of the OSHR group, University Proceedings, Kyiv, 117, 3.
6. Voloshchenko, O. I., (2012). Methodology for determining the rational composition of forces and means of engineering support for the effective implementation of engineering measures to protect military facilities from high-precision weapons. *Collection of scientific papers of the Central Research Institute of the Armed Forces of Ukraine*, Kyiv, 62, 4.
7. Operational calculations of engineering support tasks. Methods and examples, (2015). NUOU, Kyiv.
8. Hutchenko, O. A., (2023). Methodology for Assessing the Effectiveness of Troop Protection from Reconnaissance and Strike Unmanned Aerial Vehicles by Forces and Means of Aerosol Masking. *Collection of scientific articles of the Central Research Institute of the Armed Forces of Ukraine*, 106, 3.
9. Petrushenko M. M., (2012). Application of aerosol formations for the protection of military objects from strikes by tactical aircraft: methodological manual, KHNUPS, Vinnytsia-Kharkiv.
10. Zotov, S. V., (2018). Methodology for the distribution of forces of topographic and geodetic support of the operational and tactical grouping of troops in a defensive operation by tasks with maximising efficiency. *Collection of scientific works. University Proceedings*, NUOU, Kyiv, 146, 1.
11. Bulgakov, A. A., (2021). Improved methodology for substantiating the composition of forces and means of topographic support of the troops of the operational command in peacetime. *Collection of scientific papers of the Central Research Institute of the National University of Chernyakhovsky*, 73, 3.
12. Doctrine of the Support Forces Command of the Armed Forces of Ukraine, (2020). CSFU with NUOU, Kyiv.
13. *Multimethod approach to simulate* [online], (2024). Available at: <https://www.anylogic.com/blog/accelerate-enterprise-digital-transformation-with-unmatched-simulation-tools/> [Accessed : 22 May 2024].
14. Romanchenko, I. S., Shuienkin, V. O., Sakovskyi, H. A., Godz, S. V., (2019). Mathematical foundations of the theory of troop maintenance by the degree of their readiness: monograph. Central Research Institute of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv.
15. Lessons of the Russian-Ukrainian War of 2022: Military Aspects (Information and Analytical Materials. Report No. 19). Experience of using the units and subunits of the Support Forces of the Armed Forces of Ukraine in the context of the Russian Federation's large-scale aggression against Ukraine, (2022), Central Research Institute of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv.