

ТЕХНІЧНІ НАУКИ

УДК 519.863

В.А. Нікітін, С.М. Чумаченко

РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ ЕФЕКТІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЗБРОЙНИХ СИЛ З УРАХУВАННЯМ ВЗАЄМОДІЇ ЇХ СКЛАДОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ

На основі розробленої нелінійної динамічної моделі досліджені особливості природи ефектів збройних сил як складної системи з урахуванням емерджентних властивостей їх складових елементів.

На основе разработанной нелинейной динамической модели исследованы особенности природы эффектов вооруженных сил как сложной системы с учетом эмерджентных свойств их составных элементов.

On the basis of the developed nonlinear dynamic model the features of increase of effects of military powers are investigational as a difficult system taking into account emergent properties of their component elements.

Ключові слова: збройні сили, система, елементи, емерджентні властивості, модель, ефект.

Постановка проблеми. У теперішній час збройні сили (ЗС) є відкритою складною системою взаємодіючих і керованих складових, що функціонує за певною стратегією, задачами й має у своєму розпорядженні обмежені ресурси [1]. Однією з основних ознак складних систем є емерджентність, яка проявляється в тому, що сукупність властивостей всієї системи відрізняється від суми властивостей її елементів.

Наявність складної структури міжелементних зв'язків не дозволяє вирішити одну проблему, вирвавши її із загальної структури. Цілі всієї системи та відповідні правила взаємодії підсистем не можуть бути підмінені цілями й інтересами її окремих складових. Там, де це відбувається, досить велика ймовірність розпаду, деградації, катастрофи [2].

У зв'язку з цим зростає актуальність дослідження воєнно-технічних процесів, які враховують взаємозв'язки між елементами ієрархічної структури та наявність нелінійних процесів при функціонуванні складної системи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вирішенню проблем дослідження поведінки складних систем із застосуванням методів нелінійної динаміки присвячені праці вітчизняних та зарубіжних вчених. Задачею нелінійної динаміки є розробка й дослідження таких базових моделей, які виходять із найбільш типових припущень про властивості окремих системних елементів і законів взаємодії між ними [3].

Ряд авторів (О.М. Князева, С.П. Курдюмов, Г.Г. Малинецький і інш.) проводили та проводять теоретичні дослідження таких явищ, як «аттрактор»,

«біфуркація», «джокер», «русла», які дозволяють виявити порядок у хаосі й дати новий напрямок у прогнозуванні розвитку складних систем [4]. Також досліджувалися бойові можливості військ за допомогою якісного аналізу динамічних систем [5]. Методологічною підставою такого підходу є параметризація динамічних систем, а також введення потенційних функцій [6].

Невирішена раніше частина загальної проблеми. Незважаючи на значну проробку проблеми дослідження поведінки складних систем, недостатньо висвітлені питання щодо врахування системних властивостей ЗС та взаємодії значущих чинників з метою підтримання необхідного рівня бойової готовності, раціонального використання оборонних ресурсів.

Мета статті. У зв'язку з цим метою статті є визначення особливостей приросту ефекту збройних сил з урахуванням емерджентних властивостей їх складових елементів.

Виклад основного матеріалу. Інтегральним показником ефекту збройних сил будемо вважати рівень *бойової готовності*, який оцінюється за такими показниками: стан системи управління (U); укомплектованість та навченість особового складу (OS); забезпеченість озброєнням, військовою технікою (OVT), боєприпасами та їх стан; забезпеченість матеріально-технічними засобами (MTZ), стан військової інфраструктури [7 – 9].

Тому будемо вважати підсистеми OS , OVT , MTZ , VI , U основними складовими (підсистемами) складної системи ЗС. Під *ефектами діяльності підсистем* E_i розуміється характеристика рівня виконання функцій за призначенням. Припустимо, що ефект i -ої підсистеми максимальний (нормативний) при витребуванні та надходженні коштів на її розвиток в необхідному, заздалегідь розрахованому обсязі та у встановлені строки. Максимальний рівень ефекту $E_{max\ i}=1$; шкала належить відрізку $[0; 1]$ в умовних одиницях ефекту (у.о.е.).

Підсистеми взаємодіють таким чином.

1. Рівень загального ефекту характеризується мультиплікативними згортками кількісних та якісних показників.

2. Стан MTZ при відсутності їх споживання росте за логістичним законом в залежності від закону надходження фінансових ресурсів.

3. Підсистеми OVT , VI , U використовують ефект MTZ . При цьому враховується ефект насичення (підвищення ефекту MTZ , починаючи з певної відмітки, не приводить до збільшення ефектів підсистем OVT , VI , U), тобто враховуються обмеження на технології.

4. При нестачі MTZ ефекти підсистем OVT , VI , U зменшуються експоненціально.

5. Підсистема OS користується ефектами підсистем OVT , VI , U , при цьому також враховуються ефекти насичення й зменшення при відсутності ефектів підсистем нижчого рівня ієрархії.

6. Умовно будемо вважати *OS* підсистемою I рівня ієрархії; *OVT*, *VI*, *U* – II рівня; *MTZ* – III рівня ієрархії.

У зв'язку з вищезазначеним основними змінними моделі виступають: стан системи управління; стан (кількість та якість) особового складу; стан *OVT*, матеріально-технічної бази та військової інфраструктури; необхідні та наявні оборонні ресурси. Таким чином, незалежною змінною при дослідженні взаємовпливу складових загального ефекту виступає час *t*, залежними змінними виступають: *OS*, *OVT*, *MTZ*, *VI*, *U* – рівні ефекту (стани) відповідно особового складу, рівень ефекту (стан) *OVT*, рівень ефекту (стан) матеріально-технічних засобів, рівень ефекту (стан) військової інфраструктури, рівень ефекту (стан) управління.

На попередніх стадіях дослідження із застосуванням алгоритму, викладеного в [10], розроблена математична модель зміни стану збройних сил, яка має вигляд

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dMTZ}{dt} = MTZ \left(\alpha_{MTZ}^R - \frac{\alpha_{MTZ}^R \cdot MTZ}{E_{max \ MTZ}} - \frac{\eta_{MTZ}^{OVT} \cdot OVT}{H_{OVT}^{MTZ} + MTZ} - \frac{\eta_{MTZ}^{VI} \cdot VI}{H_{VI}^{MTZ} + MTZ} - \frac{\eta_{MTZ}^U \cdot U}{H_U^{MTZ} + MTZ} \right); \\ \frac{dOVT}{dt} = OVT \cdot \left(-\delta_{OVT}^S + \frac{\gamma_{OVT}^{MTZ} \cdot MTZ}{H_{OVT}^{MTZ} + MTZ} - \frac{\eta_{OVT}^{OS} \cdot OS}{H_{OS}^{OVT} + OVT} \right); \\ \frac{dVI}{dt} = VI \cdot \left(-\delta_{VI}^S + \frac{\gamma_{VI}^{MTZ} \cdot MTZ}{H_{VI}^{MTZ} + MTZ} - \frac{\eta_{VI}^{OS} \cdot OS}{H_{OS}^{VI} + VI} \right); \\ \frac{dU}{dt} = U \cdot \left(-\delta_U^S + \frac{\gamma_U^{MTZ} \cdot MTZ}{H_U^{MTZ} + MTZ} - \frac{\eta_U^{OS} \cdot OS}{H_{OS}^U + U} \right); \\ \frac{dOS}{dt} = OS \cdot \left(-\delta_{OS}^S + \frac{\gamma_{OS}^{OVT} \cdot OVT}{H_{OS}^{OVT} + OVT} + \frac{\gamma_{OS}^{VI} \cdot VI}{H_{OS}^{VI} + VI} + \frac{\gamma_{OS}^U \cdot U}{H_{OS}^U + U} \right), \end{array} \right. \quad (1)$$

де α_{MTZ}^R – питома швидкість росту ефекту *MTZ* у залежності від надходження ресурсів *x*; η_i^j – максимальна питома швидкість споживання ефекту *i*-ої підсистеми *j*-ою підсистемою при одиничному (нормованому) рівні ефекту *j*-ої підсистеми; δ_i^S – питома швидкість природного старіння (втрати бойових властивостей, професійних навичок) *i*-ої підсистеми; γ_i^j – максимальна питома швидкість споживання ефекту *j*-ої підсистеми *i*-ою (збільшення ефекту *i*-ої підсистеми за рахунок *j*-ої); $E_{max \ MTZ}$ виражає максимальний рівень ефекту підсистеми *MTZ*; H_i^j – постійні насичення *i*-их підсистем за рахунок *j*-их.

Питома швидкість $f(E)$ – це абсолютна швидкість, віднесена до рівня ефекту E : $f(E) = \dot{E} / E$. Залежність $E(t)$ описується логістичним рівнянням [11].

$$E_i(t) = E_{min} + E_{max} / (1 + \exp((-2/T_i) \cdot (t - \Delta t_i))), \quad (2)$$

де t – час; Δt_i , T_i – постійні коефіцієнти; $E_{min i}$, $E_{max i}$ – відповідно мінімально та максимально можливі рівні ефектів i -их підсистем.

Вираз для абсолютної швидкості (похідна $dE(t)/dt$) має вигляд

$$\frac{dE(t)}{dt} = F(E) = \frac{2E_{max} \cdot \exp(-2(t - \Delta t)/T)}{(1 + \exp(-2(t - \Delta t)/T))^2 \cdot T} = \frac{2E_{max}\omega}{(1 + \omega)^2 T}, \quad (3)$$

де $\omega = \exp(-2(t - \Delta t)/T_i)$. Тоді питома швидкість виражається як

$$f(E) = \frac{F(E)}{E} = \frac{2E_{max} \cdot \exp(-2(t - \Delta t)/T)}{(1 + \exp(-2(t - \Delta t)/T))^2 \cdot T \cdot E} = \frac{2E_{max}\omega}{(1 + \omega)^2 T \cdot E}. \quad (4)$$

Визначимо вплив змін окремих параметрів на поведінку системи, для чого проаналізуємо зміни вихідних параметрів при зміні окремих вхідних і при фіксованих значеннях інших параметрів. Фіксованими значеннями параметрів виступають:

$$\delta_{OVT}^S = 0,25; \quad \delta_{VI}^S = 0,01; \quad \delta_U^S = 0,05; \quad \delta_{OS}^S = 0,12; \quad \eta_{OVT}^{OS} = \eta_{VI}^{OS} = \eta_U^{OS} = 0,05;$$

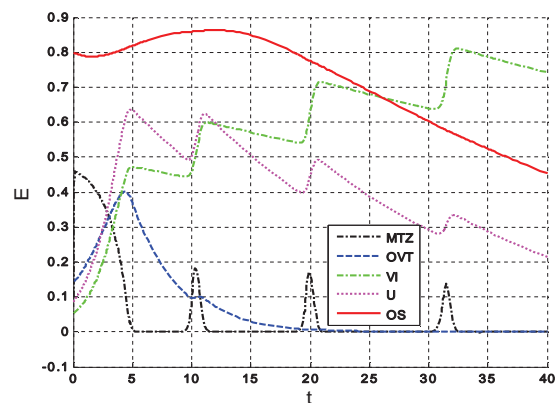
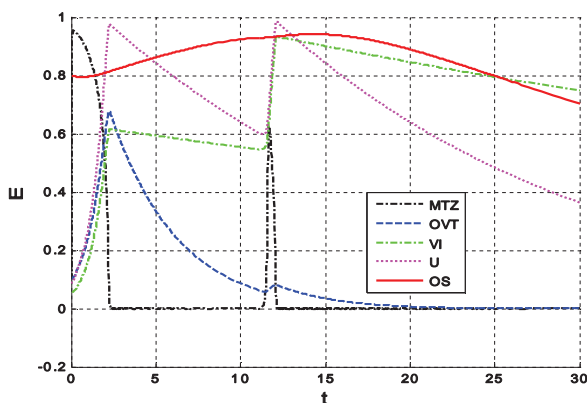
$$\gamma_{OVT}^{MTZ} = \eta_{MTZ}^{OVT}; \quad \gamma_{VI}^{MTZ} = \eta_{MTZ}^{VI}; \quad \gamma_U^{MTZ} = \eta_{MTZ}^U; \quad \gamma_{OS}^{OVT} = \eta_{OVT}^{OS}; \quad \gamma_{OS}^{VI} = \eta_{VI}^{OS}; \quad \gamma_{OS}^U = \eta_U^{OS};$$

$$H_{OS}^{OVT} = 0,5; \quad H_{OS}^{VI} = 0,52; \quad H_{OS}^U = 0,49.$$

Змінними значеннями виступають α_{MTZ}^R , η_j^i , H_i^j .

Результати наведені на рис. 1 для таких значень параметрів:

- 1) $\alpha_{MTZ}^R = 100$, $\eta_{MTZ}^{OVT} = \eta_{MTZ}^{VI} = \eta_{MTZ}^U = 1,67$, $H_{OVT}^{MTZ} = H_{VI}^{MTZ} = H_U^{MTZ} = 1/3$ (рис. 1а);
- 2) $\alpha_{MTZ}^R = 50$, $\eta_{MTZ}^{OVT} = \eta_{MTZ}^{VI} = \eta_{MTZ}^U = 1$, $H_{OVT}^{MTZ} = H_{VI}^{MTZ} = H_U^{MTZ} = 1/3$ (рис. 1 б).



- а) $\alpha_{MTZ}^R = 100$, $\eta_{MTZ}^{OVT} = \eta_{MTZ}^{VI} = \eta_{MTZ}^U = 1,67$ б) $\alpha_{MTZ}^R = 40$, $\eta_{MTZ}^{OVT} = \eta_{MTZ}^{VI} = \eta_{MTZ}^U = 1$

Рисунок 1. Вплив змін окремих параметрів на поведінку системи.

Аналіз результатів виявив такі **закономірності**.

1. Зменшення питомої швидкості росту ефекту MTZ α_{MTZ}^R в залежності від надходження ресурсів x на 50 % (зі 100 до 50) та одночасне зменшення максимальної питомої швидкості споживання ефекту i -их підсистем j -ми підсистемами при одиничному (нормованому) рівні ефекту j -ої підсистеми η_{MTZ}^{OVT} , η_{MTZ}^{VI} , η_{MTZ}^U на 40 % (з 1,67 до 1) веде до зменшення максимально можливого за даних вхідних параметрів рівня ефекту підсистем (рис. 1 а, б): OVT – на 38 % (з 0,65 до 0,4 у.о.е.), VI – на 22 % (з 0,92 до 0,72 у.о.е.), U – на 35 % (з 0,98 до 0,64 у.о.е.), OS – на 10 % (з 0,95 до 0,85 у.о.е.).

Також спостерігається зменшення кінцевих рівнів ефектів на часовому інтервалі $t \in [0;30]$ підсистем (рис. 1 а, б): VI – на 18 % (з 0,78 до 0,64 у.о.е.), U – на 21 % (з 0,38 до 0,30 у.о.е.), OS – на 15 % (з 0,7 до 0,6 у.о.е.).

Результати зменшення α_{MTZ}^R на 60 % (зі 100 до 40) наведені на рис. 2 а, б.

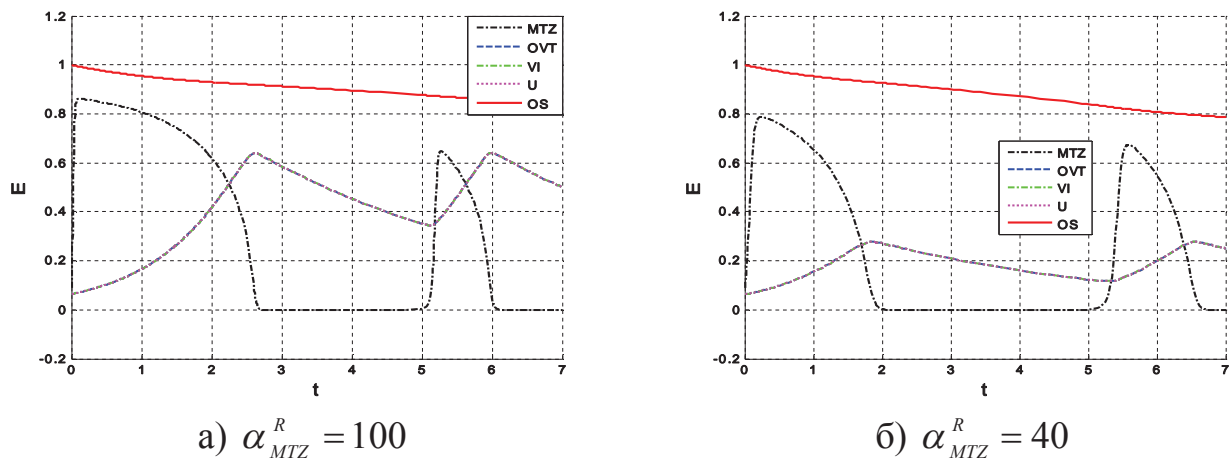
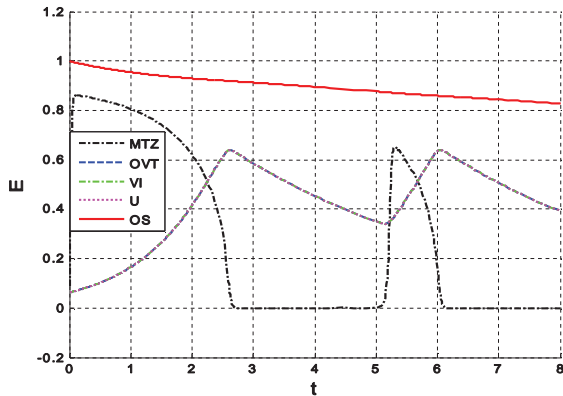
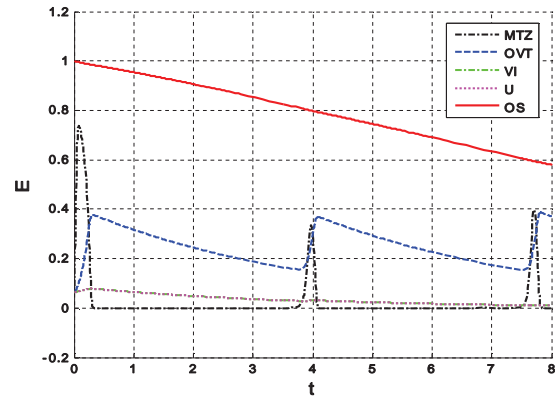


Рисунок 2. Результати зменшення α_{MTZ}^R на 60 %.

Збільшення питомої швидкості η_{MTZ}^{OVT} при незмінних $\eta_{MTZ}^{VI} = \eta_{MTZ}^U = 1,67$ у 10 разів (з 1,67 до 10,67) веде до зменшення максимально можливого за даних вхідних параметрів рівня ефекту підсистем (рис. 3 а, б): OVT – на 40 % (з 0,64 до 0,38 у.о.е.), VI та U – на 86 % (з 0,64 до 0,09 у.о.е.). Кінцеве значення ефекту OS на часовому інтервалі $t \in [0;8]$ зменшилось на 30 % (з 0,83 до 0,58 у.о.е.).



а) $\eta_{MTZ}^{OVT} = \eta_{MTZ}^{VI} = \eta_{MTZ}^U = 1,67$

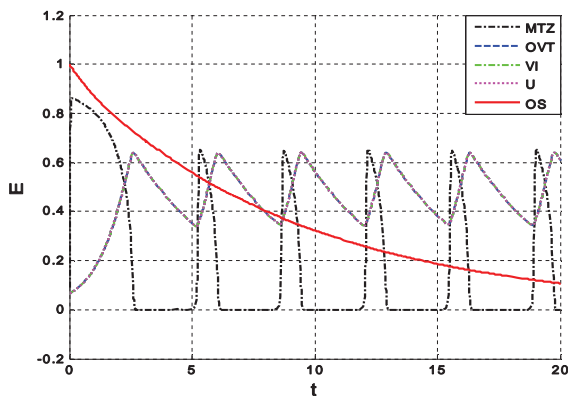


б) $\eta_{MTZ}^{OVT} = 10,67, \eta_{MTZ}^{VI} = \eta_{MTZ}^U = 1,67$

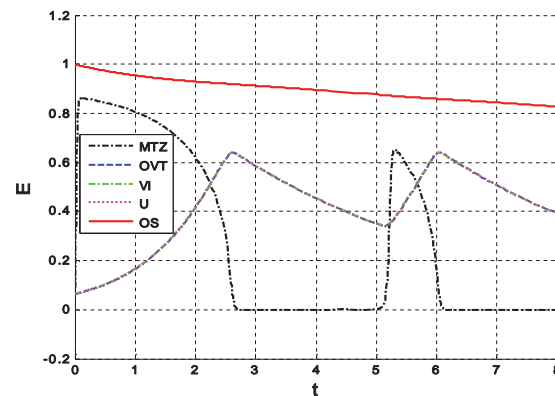
Рисунок 3. Результати збільшення питомої швидкості η_{MTZ}^{OVT} .

2. При зменшенні максимального рівня ефекту MTZ $E_{max\ MTZ}$ на 30 % (з 1 до 0,7 у.о.е.) поточний рівень ефекту MTZ зменшується також на 30 % (з 0,85 до 0,6 у.о.е.). Поточні рівні ефектів інших підсистем OVT, VI, U зменшуються відповідно.

3. При зменшенні питомої швидкості природного старіння (втрати бойових властивостей, професійних навичок) i -ої підсистеми δ_i^S , наприклад, δ_{OS}^S на 36 % (з 0,25 до 0,16), зміни ефектів інших підсистем не відбуваються (рис. 4 а), а кінцеве значення ефекту особового складу OS на часовому інтервалі $t \in [0,8]$ збільшується у 5 разів (з 0,15 до 0,82 у.о.е.) (рис. 4 б).



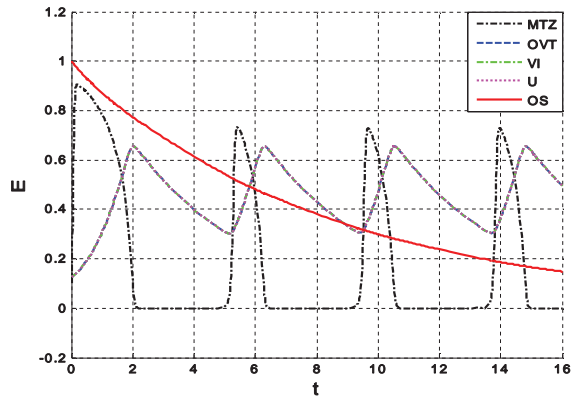
а) $\delta_{OS}^S = 0,25$



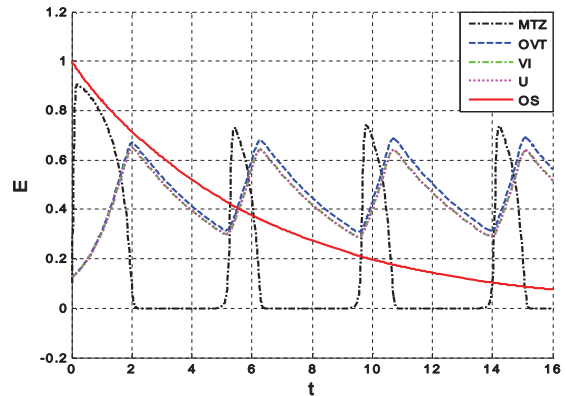
б) $\delta_{OS}^S = 0,16$

Рисунок 4. Результати зменшення питомої швидкості природного старіння.

4. Навіть значне збільшення постійних насичення підсистеми OS (І рівень ієрархії), наприклад H_{OS}^{OVT} (з 0,5 до 100), майже не призводить до змін рівнів ефектів інших підсистем (рис. 5 а, б).



а) $H_{OS}^{OVT} = 0,5$



б) $H_{OS}^{OVT} = 100$

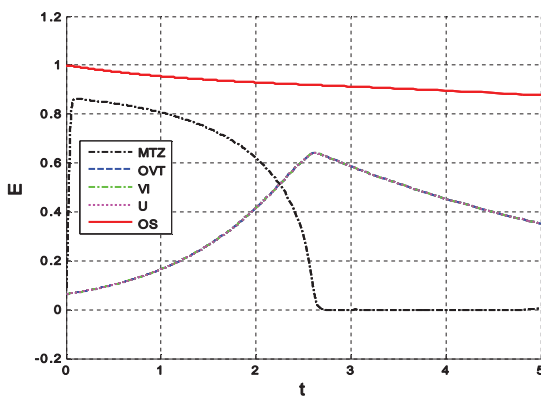
Рисунок 5. Результати збільшення постійних насичення підсистеми OS.

Причина такого явища – незмінність питомих швидкостей віддачі та споживання ефектів відповідними підсистемами при моделюванні.

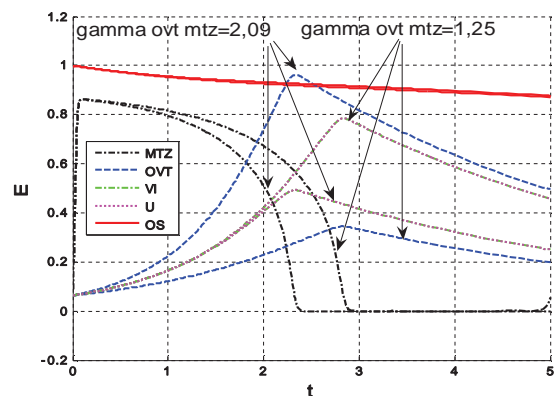
Зміна (зменшення або збільшення) постійних насичення підсистем II рівня ієрархії (OVT, VI, U) H_i^j також майже не впливає на інші підсистеми.

5. Вищевикладене відображає природу внутрішніх системних процесів за умови рівностей відповідних питомих швидкостей віддачі та набуття ефектів взаємодіючих підсистем, тобто $\gamma_{OVT}^{MTZ} = \eta_{MTZ}^{OVT}$, $\gamma_{VI}^{MTZ} = \eta_{MTZ}^{VI}$, $\gamma_U^{MTZ} = \eta_{MTZ}^U$, $\gamma_{OS}^{OVT} = \eta_{OVT}^{OS}$, $\gamma_{OS}^{VI} = \eta_{VI}^{OS}$, $\gamma_{OS}^U = \eta_U^{OS}$. Розглянемо складніші випадки, коли ці рівності не додержуються, тобто $\gamma_i^j < \eta_j^i$, $\gamma_i^j > \eta_j^i$.

На рисунку 6 наведені випадки додержання рівності питомих швидкостей віддачі й набуття ефектів взаємодіючих підсистем MTZ і OVT (рис. 6 а) та їх невиконання (рис. 6 б).



а) $\gamma_{OVT}^{MTZ} = \eta_{MTZ}^{OVT} = 0,9$



б) $\gamma_{OVT}^{MTZ} = 2,09$; $\gamma_{OVT}^{MTZ} = 1,25$

Рисунок 6. Результати додержання рівності питомих швидкостей віддачі й набуття ефектів.

Збільшення питомої швидкості набуття ефекту *OVT* за рахунок *MTZ* γ_{OVT}^{MTZ} на 25 % (з 1,67 до 2,09) веде до збільшення максимального значення ефекту *OVT* на 48 % (з 0,64 до 0,95 у.о.е.) та зменшення максимального значення ефектів *VI*, *U* на 25 % (з 0,64 до 0,48 у.о.е.). При цьому виснаження ресурсів *MTZ* відбувається раніше на 0,2 одиниці модельного часу (рис. 6 б).

Зменшення питомої швидкості набуття ефекту *OVT* за рахунок *MTZ* γ_{OVT}^{MTZ} на 25 % (з 1,67 до 1,25) веде до зменшення максимального значення ефекту *OVT* на 47 % (з 0,64 до 0,34 у.о.е.) та збільшення максимального значення ефектів *VI*, *U* на 23 % (з 0,64 до 0,79 у.о.е.). При цьому виснаження ресурсів *MTZ* відбувається пізніше на 0,2 одиниці модельного часу (рис. 6 б).

Рівень ефекту *OS* у двох випадках залишається практично незмінним у порівнянні з результатами на рис. 6 а.

Зменшення питомої швидкості росту ефекту, наприклад, *OVT* за рахунок *MTZ* γ_{OVT}^{MTZ} на 45 % (з 0,9 до 0,5) (рис. 7 а, б), веде до зменшення максимально можливого за даних вхідних параметрів рівня ефекту підсистеми *OVT* на 50 % (з 0,18 до 0,09 у.о.е.).

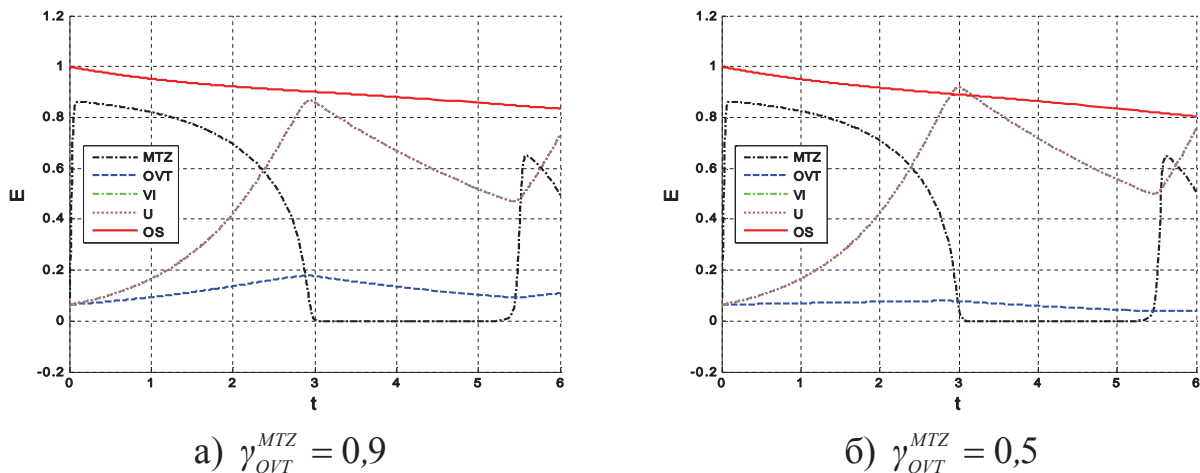


Рисунок 7. Результати зменшення питомої швидкості росту ефекту.

При цьому за рахунок вивільнення певної частки ресурсів спостерігається збільшення максимальних рівнів ефектів *VI* та *U* на 7 % (з 0,85 до 0,91 у.о.е.). Але кінцевий ефект *OS* на часовому інтервалі $t \in [0;6]$ зменшується на 3 % (з 0,82 до 0,80 у.о.е.), що пояснюється проявом системних властивостей (ефект *OS* залежить від сукупності ефектів *OVT*, *VI*, *U*).

Висновки. У якості висновків слід відзначити наступне.

1. Вплив питомих швидкостей зміни ефекту *MTZ* α_{MTZ}^R та споживання ефектів підсистем нижчого рівня ієрархії підсистемами вищого

рівня η_i^j на рівні ефектів взаємодіючих підсистем значний і має нелінійний характер.

2. На досліджуємому часовому інтервалі спостерігається лінійна залежність між рівнями ефектів *MTZ* та інших підсистем вищого рівня ієрархії (*OVT*, *VI*, *U*).

3. Вплив природного старіння (втрати бойових властивостей, професійних навичок) на рівні ефектів взаємодіючих підсистем значний, має нелінійний характер і потребує уточнення для кожного окремого варіанту постановки задачі.

4. Постійні насичення підсистеми *OS* (H_{OS}^{OVT} , H_{OS}^{VI} , H_{OS}^U) та підсистем II рівня ієрархії (H_{OVT}^{MTZ} , H_{VI}^{MTZ} , H_U^{MTZ}) самі по собі мають дуже обмежений вплив на рівні ефектів взаємодіючих підсистем і на поведінку системи в цілому. Але неврахування їх змін у сукупності зі змінами інших параметрів може привести до непередбаченого результату.

5. При нерівностях питомих швидкостей віддачі та набуття ефектів взаємодіючих підсистем спостерігаються такі особливості:

вплив вищезазначених питомих швидкостей на рівні ефектів підсистем значний і має лінійний характер;

зміни питомої швидкості набуття ефекту підсистем II рівня ієрархії за рахунок *MTZ* веде до перерозподілу ресурсів тільки між цими підсистемами і майже не впливає на рівень ефекту підсистеми I рівня ієрархії (*OS*), що в свою чергу веде до пропорційної зміни швидкості виснаження ресурсів *MTZ*;

зміни значень ефектів підсистем II рівня ієрархії пропорційні відповідним змінам питомих швидкостей набуття ефектів;

зменшення ефекту однієї з підсистем II рівня ієрархії нижче певної межі веде до збільшення ефектів інших підсистем того ж рівня за рахунок вивільнення ресурсів, але при цьому відбувається зменшення ефекту підсистеми I рівня ієрархії (*OS*), що пояснюється проявом емерджентних властивостей.

Тобто прийняття подальших коректних рішень можливе лише за умов комплексного розгляду проблеми з урахуванням усіх значущих факторів.

Напрямки подальших досліджень. Надалі доцільно розглянути поведінку складної системи ЗС з метою виявлення можливих інтервалів та причин нестационарних (кризових) станів для розробки та уточнення відповідних програм управління.

ЛІТЕРАТУРА

1. Буланичев, В.А. Синергетический подход к управлению качеством образования [Текст] / В.А. Буланичев, Л.А. Серков // Качество. Инновации. Образование. (Менеджмент и системы качества образовательных учреждений), 2006. – №3. – С. 53-57.
2. Малинецкий, Г.Г. Современные проблемы нелинейной динамики [Текст] / Г.Г. Малинецкий, А.Б. Потапов – М.: УРСС, 2002. – 336 с.
3. Лоскутов, А.Ю. Нелинейная динамика, теория динамического хаоса и синергетика: идеи и перспективы: [Электронный ресурс] / А.Ю. Лоскутов. – Режим доступа: <http://chaos.phys.msu.ru/stud.htm>.
4. Чернышов, Ю.Г. Третье рождение синергетики [Электронный ресурс] / Ю.Г. Чернышов // Наука и жизнь, 2002. – №11: – Режим доступа: <http://www.nkj.ru/archive/articles/4944>.
5. Морозов, Н.А. Теоретические основы качественного анализа больших военных систем [Электронный ресурс] / Н.А. Морозов. – М.: 27 ЦНИИ МО, 2003: – Режим доступа: <http://spkurdyumov.narod.ru/Ohotnikov.htm>.
6. Охотников, Г.Н. Научная картина современной войны как междисциплинарная проблема [Электронный ресурс] / Г.Н. Охотников // Материалы Международного форума «Проекты будущего: междисциплинарный подход» 16-19 октября 2006, г. Звенигород: – Режим доступа: <http://spkurdyumov.narod.ru/Ohotnikov.htm>.
7. Військовий стандарт ВСТ 01.004 002 – 2007(01). Видання 1. Воєнна безпека. Стратегічне планування. Терміни та визначення. Затверджений наказом начальника Центрального управління метрології і стандартизації – головного метролога Збройних Сил України від 31 березня 2007 року № 36. [Текст]: стандарт – К: ННДЦ ОТ і ВБ України, 2007. – 35 с.
8. Абдурахманов, М.И. Военная безопасность России. [Текст]: Словарь-справочник. / М.И.Абдурахманов, В.А.Баришполец, В.Л.Манилов // Под общ. ред. Манилова В.Л. – М.: «Пробел», 2000. – 389 с.
9. Брыскин, В.В. Математические модели планирования военных систем. [Текст] / В.В. Брыскин. – Новосибирск:, изд-во Института математики, 1999. – 231 с.
10. Зильпукаров, М.М. Шильниковский хаос в системе Розенцвейга-Макартура. [Текст]: препринт / М.М.Зильпукаров, Г.Г.Малинецкий //Препринт ИПМ № 45, М.: – 2006. – 32 с.
11. Шевченко, В.Л. Застосування залежностей з обмеженням зросту для спрощення побудови прогнозуючих моделей військово-економічних процесів [Текст] / В.Л. Шевченко //Зб. наук. пр. ННДЦ ОТ і ВБ України. Вип. 4(24). – К.: ННДЦ ОТ і ВБ України, 2004. – С. 111 – 117.