

¹Сергій Миколайович Чумаченко (д-р техн. наук, с.н.с.)

²Сергій Леонідович Данилюк (канд. техн. наук, с.н.с.)

¹Український науково-дослідний інститут цивільного захисту, Київ, Україна

²Центральний науково-дослідний інститут Збройних Сил України, Київ, Україна

МЕТОД ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ВОЛЬТЕРІВСЬКИХ СИСТЕМ У ЗОНІ ВЕДЕННЯ БОЙОВИХ ДІЙ ЯК ЕЛЕМЕНТ НОВОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ АДАПТИВНОГО ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ СТАНУ НАВКОЛИШНЬОГО ПРИРОДНОГО СЕРЕДОВИЩА

Основною метою забезпечення екологічної безпеки діяльності Збройних Сил України є реалізація державної екологічної політики у військовій області, що забезпечує ефективне вирішення завдань Збройними Силами за мінімального впливу на навколишнє середовище. Одним з основних завдань забезпечення екологічної безпеки під час ведення бойових дій є захист навколишнього середовища.

Причини необхідності забезпечення екологічної безпеки діяльності Збройних Сил обумовлені наявністю чинників, що постійно діють і негативно впливають на навколишнє середовище, здоров'я особового складу та населення; несприятливою екологічною обстановкою в місцях дій військ і контролем її впливу на виконання завдань Збройними Силами.

З метою вирішення вищезазначених завдань, у статті розглянуто питання застосування методу імітаційного моделювання процесу спостереження Вольтерівських систем у зоні ведення бойових дій для підтримки прийняття рішень в адаптивній системі екологічного моніторингу стану навколишнього природного середовища.

Ключові слова: забруднення, моніторинг, екологічний стан, імітаційна модель, нелінійний спостерігач.

Вступ

У сучасних умовах в Збройних Силах України існує розуміння необхідності розв'язання проблеми збереження навколишнього природного середовища в процесі повсякденного функціонування їх структурних складових: військово-промислових об'єктів; військово-технічних комплексів; військових підрозділів, частин, з'єднань разом із системами озброєння, військової техніки та життєзабезпечення. Не зменшуючи пріоритетність виконання завдань бойової підготовки, керівники військових колективів усіх рівнів узгоджують свою діяльність із природоохоронними заходами, також і в особливий період.

При цьому екологія війни як науковий напрямок і в понятійному розумінні, і в розумінні пріоритетності урахування її рекомендацій під час планування і ведення бойових дій локального та регіонального масштабу ще перебуває у початковій фазі свого вивчення.

Постановка проблеми.

Воєнна екологія в широкому розумінні включає в себе військову екологію та екологію війни, а у вузькому – тільки екологію війни.

У сучасних умовах в арміях провідних країн світу найбільш розвинутою є гілка військової екології, де широко використовуються методи якісно-оціночного прогнозування екологічних

наслідків військової діяльності, розвинуті методи точних обчислень, але майже не розвинуто високоточні методи моніторингу й управління станом воєнно-техногенних об'єктів.

Саме це, в основному, обумовлює виникнення необхідності моделювання процесу спостереження за екологічною обстановкою в зоні ведення бойових дій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Методи контролю за станом природного середовища розглянуті в [1]. Системи управління моніторингом розглянуті в [2]. Основи та методи ідентифікації систем розглянуті в [3–4]. Методи і показники оцінки та прогнозування стану екологічної безпеки військових полігонів розглянуті в [5].

Мета статті. Оцінити можливість екологічного моніторингу стану навколишнього природного середовища в зоні ведення бойових дій за допомогою методу імітаційного моделювання процесу спостереження Вольтерівських систем.

Виклад основного матеріалу досліджень

На сьогодні досить повно теоретично і алгоритмічно (враховуючи і наявність комп'ютерного програмного забезпечення) розв'язані задачі спостереження за лінійними нестационарними (та ще в більшій мірі) стационарними системами [1, 2].

Базуючись на відомій структурі лінійного спостерігача, за аналогією побудуємо імітаційну модель нелінійного спостерігача за спеціальним класом систем, математичні моделі яких описують взаємодію видів хребтних біоценозу з внутрішньовидовою конкуренцією, що утворюють багаторівневі трофічні мережі. рис. 1.

Розв'язання задачі спостереження полягає в тому, щоб $\Delta X = X - \hat{X} \rightarrow 0$ при $t \rightarrow \infty$ за рахунок вибору значень параметрів матриці H . Слід підкреслити, що попередньо необхідно розв'язати проблему спостережності системи, які в загальному випадку є окремою складною проблемою. На сьогодні цю проблему вирішують шляхом зведення нелінійної задачі до лінійної нестационарної із параметрами, що залежать від прогнозованого на поточний момент вектора стану системи або від вимірних (чи оцінених) значень вектора стану системи. Прогнозовані, вимірні (оцінені) значення вектора стану системи підставляють у вирази для обчислення коефіцієнтів лінеаризованої моделі [3, 4].

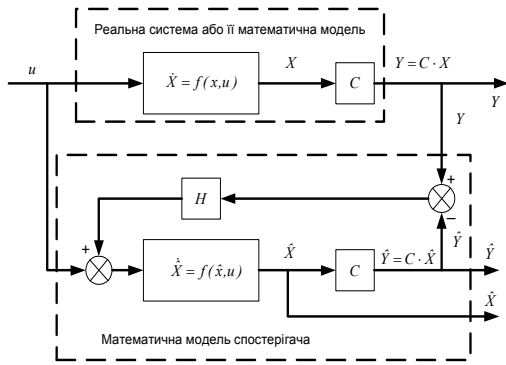


Рис. 1. Загальна схема імітаційного моделювання спостерігача

Скористаємось цим прийомом для обчислення параметрів матриць A, B системи $\dot{X} = A \cdot X + B \cdot U$ за умови, що лінеаризація рівняння $\dot{x} = f(x, u)$ відбулась поблизу точки стійкої рівноваги X .

Нелінійна система рівнянь, що описує взаємодію видів згідно трофічного оргграфу зооценозу соснових лісів, що відповідає соснякам мертвопокривним і сосновим лісам та рідколіссям із лишайниковим, зеленомоховим і сухотравно-ковилово-келерійовим наземним покривом військового полігону (ВП) "Дівички" (рис.1.), з урахуванням внутрішньовидової конкуренції має вигляд (1):

$$\begin{cases} \dot{X} = a \cdot X + b \cdot X + a \cdot X \cdot X + U; \\ \dot{X} = a \cdot X + b \cdot X + a \cdot X \cdot X + a \cdot X \cdot X + U. \end{cases} \quad (1)$$

$\dim[X] = n, i = \overline{1,16}$; $U, (i = \overline{1,16})$ – зовнішній вплив, який можна розглядати як збурення, що породжує випадкові зміни чисельності популяції або штучний вплив, викликаний додатковим розселенням хребтних чи знищенням їх під час полювання чи військових навчань.

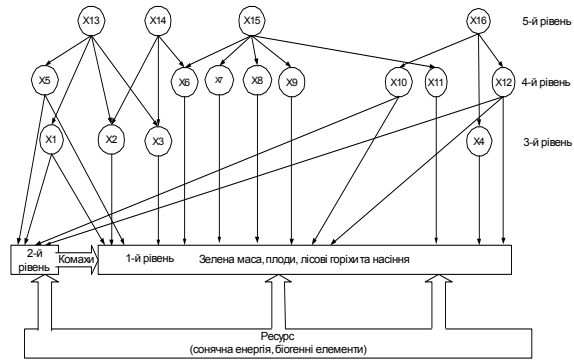


Рис. 2. Орграф трофічної мережі зооценозу соснових лісів ВП "Дівички", де X_1 – ящірка зелена, X_2 – полівка звичайна, X_3 – миша лісова, X_4 – білка, X_5 – сумарна щільність комахоїдних птахів, X_6 – заєць сірий, X_7 – косуля європейська, X_8 – лось, X_9 – олень шляхетний, X_{10} – дятел звичайний, X_{11} – дика свиня, X_{12} – сойка, X_{13} – боривітер звичайний, X_{14} – лисиця, X_{15} – вовк, X_{16} – тхір лісовий.

Розглянемо різні варіанти спостережень за видовою структурою зооценозу хребтних:

1-й варіант – спостерігаємо: X – боривітер звичайний, X – лисиця, X – вовк;

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

ранг матриці спостережуваності $r = 9$.

2-й варіант – спостерігаємо: X – боривітер звичайний, X – лисиця, X – вовк, X – тхір;

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

ранг матриці спостережуваності $r = 13$.

3-й варіант – спостерігаємо: X – олень шляхетний, X – дятел звичайний, X – дика свиня, X – сойка, X – боривітер звичайний, X – лисиця, X – вовк, X – тхір;

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

ранг матриці спостережуваності $r = 15$.

4-й варіант – спостерігаємо: X – лось, X – олень шляхетний, X – дятел звичайний, X – дика свиня, X – сойка, X – боривітер звичайний, X – лисиця, X – вовк, X – тхір;

ранг матриці спостережуваності $r = 16$ і система стає повністю спостережуваною.

Для визначення зооценозу хребтних ВП “Дівички” були використані функції системи комп’ютерної математики MatLab 7.0.4: $Ob = \text{obsv}(A,C); \text{rank}(ob)$.

Комп’ютерна імітаційна модель нелінійного спостерігача для 16 вимірної Вольтерівської системи зооценозу хребтних із внутрішньовидовою конкуренцією (побудована із використанням математичної моделі (1) орграфу, трофічної мережі зооекоотопу соснових лісів представлена на рис. 3.

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

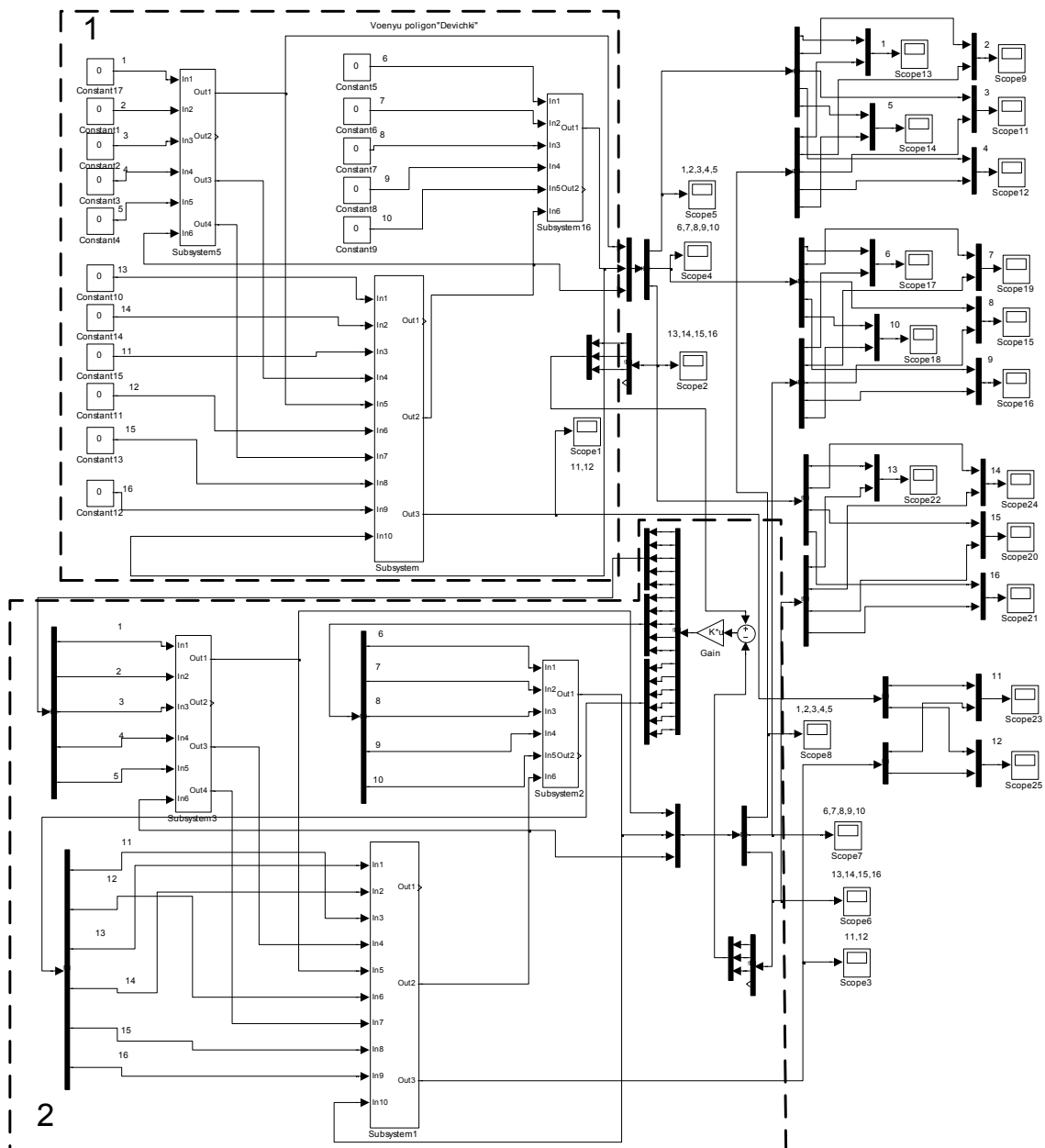


Рис. 3. Спостерігач 16 вимірної Вольтерівської системи ВП “Дівички”: 1 – 16 вимірний математичний зооценоз хребтних; 2 - 16 вимірний нелінійний спостерігач зооценозу хребтних

Результати моделювання демонструють можливості спостерігача за умови, що доступним для вимірів були лише елементи X_1, X_2, X_3 , які за фізичним змістом відповідають середній щільності біомаси боривітера звичайного, лисиці та вовка відповідно.

Спостереження за названими тваринами ведеться Українським товариством охорони птахів, Ржищівським військовим лісгоспом, Переяслав-Хмельницьким лісництвом та Ржищівським військовим мисливсько-рибальським господарством, що розташовані поряд та безпосередньо на території ВП "Дівички".

Як бачимо, дійсно під час використання такого підходу процесу моделювання за інформацією про X_1, X_2, X_3 можна оцінити змінні $X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}$, тобто всього 9 змінних, як і передбачалось згідно дослідження на спостережуваність.

У таких самих умовах спостереження 7 компонент зооценозу ($X_1, X_2, X_3, X_4, X_{10}, X_{12}, X_{16}$) можна вважати таким, що практично не спостерігається. Коефіцієнти матриці зворотного зв'язку оптимального спостерігача Вольтерівської системи були підібрані в процесі імітаційного моделювання. Значення матриці H для спостерігача Вольтерівської системи:

$$H = \begin{vmatrix} 10000 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 100.06 \\ 0 & 0 & 2600.7 \\ 0 & 0 & 800 \\ 0 & 0 & 400.9 \\ 0 & 0 & 500.10 \\ 2000 & 2000 & 500.11 \end{vmatrix}$$

Сходження процесу спостереження в умовах застосування нелінійної Вольтерівської системи з внутрішньовидовою конкуренцією біологічних видів для моделювання зооценозу забезпечує сходження процесу спостереження практично за тих самих умов, що і для лінеаризованої біля точки стійкої рівноваги, вочевидь за рахунок того, що абсолютні значення компонент Вольтерівської системи не можуть бути від'ємними величинами.

Проведений аналіз досвіду застосування у збройних конфліктах навіть звичайного озброєння по критичних об'єктах, свідчить про виникнення

надзвичайних ситуацій та катастроф техногенного характеру.

В таких умовах забезпечення екологічної безпеки особового складу та засобів збройної боротьби, цивільного населення, навколишнього середовища є визначальними.

Досягнення необхідного рівня екологічної безпеки здійснюється виконанням комплексу заходів з екологічного моніторингу районів можливих бойових дій (розташування військ (сил)) із застосуванням засобів космічного, повітряного та наземного базування (систем спостереження, сенсорів).

Враховуючи зростаючу чуттєвість оточуючого природного середовища до антропогенного впливу, а також розвиток засобів збройної боротьби, інформація, яка надається за допомогою екологічного моніторингу, набуває дедалі більшого значення під час прийнятті рішення щодо характеру застосування Збройних Сил України.

Висновки й перспективи подальших досліджень.

У статті за допомогою комп'ютерної імітаційної моделі нелінійного спостерігача для 16 вимірної Вольтерівської системи наведена можливість екологічного моніторингу стану навколишнього природного середовища в зоні ведення бойових дій.

Сутність методу полягала в тому, що на основі відомої структури лінійного спостерігача та за спеціальним класом систем, математичних моделей, що описують взаємодію видів хребетних біоценозу з внутрішньовидовою конкуренцією, які утворюють багаторівневі трофічні мережі, була побудована імітаційна модель нелінійного спостерігача за станом природного навколишнього середовища.

Результати імітаційного моделювання зазначили, що компоненти трофічної мережі, такі як $X_5, X_7, X_8, X_9, X_6, X_{11}, X_{13}, X_{14}, X_{15}$, відновлюються до істинного значення.

Перспективою подальших наукових досліджень є застосування дистанційних методів моніторингу для оперативного виявлення радіаційної, хімічної й біологічної обстановки у випадках екстремально високого забруднення навколишнього природного середовища на територіях ведення бойових дій.

Література

1. Израэль Ю. А. Экология и контроль состояния природной среды. – М. : Гидрометеоиздат, 1984. – 560 с.
2. Квакернаак Х., Р. Сиван Линейные оптимальные системы управления. – М. : Мир, 1977. – 650 с.
3. Гроп Д. Методы идентификации систем. – М. : Мир, 1979. – 302 с.
4. Эйкхоф П. Основы идентификации систем управления. – М.: Мир, 1975. – 684 с.
5. Методи і показники оцінки та прогнозування стану екологічної безпеки полігонів. Моніторинг бойової підготовки./ [Педченко Г. М. та ін.] Монографія. – К. : ІГНС НАНУ та МНС, 2008. – 400 с.

**МЕТОД ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА НАБЛЮДЕНИЯ
ВОЛЬТЕРОВСКИХ СИСТЕМ В ЗОНЕ ВЕДЕНИЯ БОЕВЫХ ДЕЙСТВИЙ, КАК ЭЛЕМЕНТ НОВОЙ
ИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ АДАПТИВНОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА
СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ**

¹*Сергей Николаевич Чумаченко (д-р техн. наук, с.н.с.)*

²*Сергей Леонидович Данилюк (канд. техн. наук, с.н.с.)*

¹*Украинский научно-исследовательский институт гражданской защиты, Киев, Украина*

²*Центральный научно-исследовательский институт Вооруженных Сил Украины, Киев, Украина*

Основной целью обеспечения экологической безопасности деятельности Вооружённых Сил Украины, есть реализация государственной экологической политики в военной области, которая обеспечивает эффективное решение задач Вооружёнными Силами при минимальном воздействии на окружающую среду. Одной из основных задач обеспечения экологической безопасности во время ведения боевых действий есть защита окружающей среды.

Причины необходимости обеспечения экологической безопасности деятельности Вооружённых Сил, обусловлены наличием факторов, которые постоянно воздействуют и негативно влияют на окружающую среду, здоровье личного состава и населения, неблагоприятной экологической обстановкой в местах действий войск и учётом её воздействия на выполнение задач Вооружёнными Силами. Для решения вышеперечисленных задач, в статье рассмотрен вопрос применения метода имитационного моделирования процесса наблюдения Вольтеровских систем в зоне ведения боевых действий для поддержания принятия решений в адаптивной системе экологического мониторинга состояния окружающей природной среды.

Ключевые слова: загрязнение; мониторинг; экологическое состояние; имитационная модель; нелинейный наблюдатель.

**THE SIMULATION METHOD OF THE VOLTAIRE SYSTEMS OBSERVATION PROCESS
IN THE CONDUCTING OPERATIONS ZONE AS THE NEW INFORMATIONAL
TECHNOLOGY ELEMENT OF THE ENVIRONMENT CONDITION ADAPTIVE
ECOLOGICAL MONITORING**

¹*Serhii M. Chumachenko (Doctor of Technical Sciences, Senior Research Fellow)*

²*Serhii L. Danyliuk (Candidate of Technical Sciences, Senior Research Fellow)*

¹*Ukrainian Scientific Research Institute of Civil Protection, Kyiv, Ukraine*

²*Central Scientific Research Institute of Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

The purpose of the providing ecological safety of Armed Forces of Ukraine activity is implementing the state ecological policy in military area which ensures the effective problems solving by the Armed Forces when the minimum environmental impact. The natural environment protection is one of the primary goals of environmental safety maintenance during conducting operations.

The necessity reasons of maintaining environmental safety of Armed Forces of Ukraine activity are caused by the existence of factors which constantly affect and negatively influence on environment, staff and population health, adverse ecological situation in the arias of combat operations and the account of its affecting on missions execution by Armed Forces. For the solving the above mentioned tasks, the question of simulation method application of the Voltaire systems observation process in the conducting operations zone for decision-making support in the adaptive system of the environment condition ecological monitoring was considered in the paper.

Keywords: pollution; monitoring; ecological condition; imitating model, the nonlinear observer.

References

1. Izrael Yu. (1984), Ecology and the environment condition monitoring. [*Ekologiya i kontrol sostoianii prirodnoi sredy*], Moscow, Gydrometeoizdat, 560p.
2. Kvakernaak H., Sivan R. (1977), Linear optimum control systems. [*Lineinye optimalnyie sistemy upravleniia*], Moscow, Mir, 650 p.
3. Grop D. (1979), The systems identification methods. [*Metody identifikatsyi sistem*], Moscow, Mir, 302 p.
4. Einkhof P. (1975), Bases of control systems identification. [*Osnovy identifikatsyi system upravleniia*], Moscow, Mir, 684 p.
5. Pedchenko H.M., Lysychenko H.V., Romanchenko I.S., Semenchenko A.I., Lysenko O.I., Chumachenko S.M., Zabulonov Yu.L., Stankevych S.A., Butenko S.H., Borysiuk S.L. (2008), Estimation and forecasting methods and parameters of ranges environmental safety condition. Combat training monitoring. The monography, [*Metody i pokaznyky otsinky ta prohozuvannia stanu ekologichnoii bezpeky polihoniv. Monitorynh boiovoi pidhotovky. Monohrafiia*], Kyiv, IHNS NANU and MNS, 400p.

Отримано: 27.06.2015 p.