

**Доктор технических наук, старший научный сотрудник Сергей
ЧУМАЧЕНКО,
кандидат физико-математических наук Елена АНДРИЮК,
Василий ВОВЧАНСКИЙ**

Подходы к применению метода анализа иерархий и нечетких множеств для экспертной оценки влияния военно- техногенной нагрузки на акваториях и приморских территориях

ABSTRACT

APPROACHES TO THE APPLICATION OF THE METHOD OF ANALYZING HIERARCHIES AND FUZZY SETS
FOR AN EXPERT ASSESSMENT OF THE IMPACT OF THE MILITARY-TECHNOLOGICAL LOAD IN THE
WATER AREAS AND COASTAL TERRITORIES

Today, in the context of a further increase in military-political tension as a result of Russia's annexation of the territory of Crimea and the relocation of the Naval Forces of the Armed Forces of Ukraine, there is an acute question of increasing the intensity and volume of combat training to increase the high level of combat readiness of the Ukrainian Navy. There is an urgent need to develop expert analytical methods for conducting operational assessments of the impact of naval activity (NA) during combat training (CT) at new training grounds, training facilities, and an environmental assessment of the impact of military-technological pressure on military operations (MO) and military exercises on the state of the ecological and sanitary-epidemiological situation in the water areas and coastal territories of Ukraine. The goal is also the further development of expert environmental assessment methods in the field of military-technological safety.

Key words: expert analytical methods, environmental situation, operational assessment, eco-information matrix, military-technological load.

Аннотация. Сегодня, в условиях дальнейшего нарастания военно-политической напряженности в результате аннексии Россией территории Крыма и перебазирования Военно-морских сил (ВМС) Вооруженных Сил Украины, остро стоит вопрос об увеличении интенсивности и объема боевой подготовки для повышения высокого уровня боеготовности ВМС Украины. Актуальна

необходимость разработки экспертно-аналитических методов для проведения оперативных оценок влияния военно-морской деятельности (ВМД) при проведении боевой подготовки (БП) на новых полигонах, учебных объектах, экологической оценки влияния военно-техногенной нагрузки от боевых действий (БД) и военных учений на состояние экологической и санитарно-эпидемиологической обстановки в акваториях и прибрежных территориях Украины. Целью также является дальнейшее развитие методов экспертного экологического оценивания в области военно-техногенной безопасности.

Ключевые слова: экспертно-аналитические методы, экологическая обстановка, оперативная оценка, экоинформационная матрица, военно-техногенная нагрузка.

Вступление

Как в Вооруженных Силах Украины, так и в ВМС существует хроническая нехватка средств на проведение полномасштабных регулярных химико-аналитических исследований для экологического мониторинга во время боевых действий и военных учений. Сегодня следует отметить сложность проблемы формализации полного перечня военно-техногенных факторов влияния корабельного состава ВМС и его вооружения.

Недавний пример затопления ряда военных кораблей Черноморского флота России в озере Донузлав для блокировки вывода украинских кораблей свидетельствует о необходимости проведения срочных и оперативных оценок военно-техногенной нагрузки (ВТН) на состояние морской среды с целью предъявления требований о компенсации эколого-экономический ущерб от действий агрессора через международные экологические организации. Все эти факторы свидетельствуют о необходимости дальнейшего развития методов экспертного экологического оценивания в области военно-техногенной безопасности.

В научных публикациях отечественных и зарубежных авторов, посвященные проблематике экологического оценивания комплекса антропогенных воздействий от разноплановой деятельности, значительное внимание уделялось разработке научно-методического аппарата для проведения экологических оценок воздействия на окружающую среду (далее ОС) в том числе и военных учений⁷⁷⁷⁸⁷⁹⁸⁰.

Анализ публикаций

Во второй половине XX и в начале XXI века учеными в области прикладной и инженерной экологии исследовались комплексные подходы по созданию методов объективной оценки

⁷⁷ Ретеюм А.Ю. *Вторжение в природную среду. Оценка воздействия*. Москва, 1983.

⁷⁸ Семенова Л. А. *Зарубежный опыт оценок воздействия на природную среду*. Москва, 1985. - с. 17-32.

⁷⁹ Черп О.М. *Экологическая оценка и экспертиза*. Москва, 2000, URL: <http://www.ecoline.ru/mc/books/>, с. 202.

⁸⁰ Холлинг К-С. *Экологические системы. Адаптивная оценка и управление*. Москва, 1981.

техногенного влияния антропогенной деятельности на ОС. В научных публикациях⁸¹ на сегодняшний день описан целый ряд методов экологической оценки, среди которых наибольшее распространение получили:

- 1) картографические методы (метод наложения и сопряженного анализа карт, метод контрольных списков);
- 2) матричные методы (матрица Леопольда, матрица Петерсона, матрица взаимодействующих компонентов, ступенчатая матрица Соренсена);
- 3) методы на основе сетевых диаграмм;
- 4) статистические методы;
- 5) адаптивные методы (метод Сондхейма, анализ решений, метод Холлинга);
- 6) методы моделирования (имитационно-оптимизационные модели⁹⁰, модели на основе концепции базы знаний, логико-информационные модели).

Однако, что касается оценки влияния от военно-морской деятельности то к этому времени еще не разработано общепринятого универсального метода оперативной экспертной оценки влияния ВТН на окружающую среду.

В настоящее время задача совершенствования методов и методик оценки влияния ВТН от БД и БП во время осуществления высадки морского десанта на акваториях и территориях Украины сталкивается с целым рядом трудностей.

Цель и постановка задачи

Целью является разработка удобного метода экспертно-аналитического оценивания влияния ВТН от БД и проведения военных учений на территориях и акваториях в условиях ресурсных ограничений.

Для достижения цели необходимо обосновать метод экспертно-аналитической оценки влияния ВТН от БД и БП на ОС приморских территорий и акваторий с использованием современных подходов экспертного оценивания.

⁸¹ Лисенко О.І. *Про розвиток поняття воєнна екологія*. Київ, 2004. - nr3. - s. 45-49.

⁸² Качинський А.Б. *Екологічна безпека України: системний аналіз перспектив покращення* / А.Б. Качинський. Київ, 2001.

⁸³ Перегудов Ф.И. *Введение в системный анализ*. Москва, 1989.

⁸⁴ Моисеев Н.Н. *Математические задачи системного анализа*. Москва, 1981.

⁸⁵ Thorpe J. *Threats to Biodiversity in Saskatchewan*. Saskatoon, SRC Publication nr. 11158-1C99, 1999. – s. 75.

⁸⁶ Margoluis R. *A Guide to Threat Reduction Assessment for Conservation*. Washington, D.C.: Biodiversity Support Program, www.BSPonline.org, 2001.

⁸⁷ Чумаченко С.М. *Методика ранжування загроз біорізноманіттю за їх пріоритетністю. Оцінка і напрямки зменшення загроз біорізноманіттю України*. Київ, 2003.

⁸⁸ Чумаченко С.М. *Методичні аспекти оцінки і ранжування загроз для біорізноманіття в Україні*. Київ, *Екологія і ресурси*, nr 7, 2003. - s. 77-86.

⁸⁹ Дурдинець В.В. *Соціальні ризики та соціальна безпека в умовах природних і техногенних надзвичайних ситуацій та катастроф*. Київ, 2001.

⁹⁰ Штойер Р. *Многокритериальная оптимизация. Теория, вычисления и приложения*. Москва, 1992.

Решение научного задания

Согласно своего назначения экосистемы в районе ведения БД и учебные объекты (далее УО) полигонов ВМС должны обеспечивать условия, наиболее приближенные к боевым. Выполнение определенных задач кораблей ВМС и морской пехоты во время ведения БД и проведения БП на КА с применением вооружения и военной техники порождает факторы ВТН на НПС.

В связи с тем, что каждый элемент БД и каждый закат БП является сложным организационно-техническим мероприятием (см. рис.5) с многофакторным комплексным воздействием ВТН на окружающую среду необходимо провести его декомпозицию на последовательность отдельных элементов, доступных для экологической оценки.

Предположим, что нам известны все параметры потока ВТН во время проведения конкретного элемента БД или заката БП, которое состоит из факторов влияния военной деятельности на окружающую среду, то есть вектор (см. рис.1) $F^T(F_1^T, \dots, F_n^T)$,

где $F_i^T(f_{1i}, \dots, f_{li}, \dots, f_{ki})$ - техногенные спектры, которые являются компонентами вектора потока ВТН, а f_{ij} - факторы ВТН, которые есть компонентами техногенных спектров.

Каждый отдельный элемент оценивается с помощью трехмерной матрицы. На рисунке 2 показан пример куба экоинформационной матрицы, которая характеризует наличие фактора ВТН, привязку его к определенному району БД или УО полигона и интенсивность его влияния.

Для идентификации факторов ВТН необходимо провести экспертный опрос специалистов в области военной экологии для составления причинно-следственной диаграммы Исикавы, которая показана на рис. 3, для каждой из определенных стадий высадки морского десанта.

По результатам проведенного экспертного опроса составляется иерархическая структура⁹¹ факторов и субфакторов ВТН, которая показана на рис. 4. Для оценки и ранжирования ВТН для различных стадий высадки морского десанта согласно факторам происхождения необходимо составить экоинформационную матрицу, в которую будут входить все имеющиеся факторы и субфакторы ВТН из диаграммы Исикавы.

Применение метода экоинформационной матрицы является корректным, если суммарное количество информации о стадии высадки морского десанта и функциональные зоны БД или УО по факторам ВТН, в разных классах можно сравнивать друг с другом.

В упрощенной экоинформационной матрице класса БД или УО и экоинформационной матрице БД или УО принято считать, что все военно-техногенные факторы имеют одинаковый вес, равный 1, если фактор является в классе, и 0, если его нет. Это обеспечивает сопоставимость индивидуальных количеств информации в упрощенных матрицах.

Интенсивность факторов ВТН оценивается по трёхбалльной шкале: 0 - отсутствует, 1 - низкая, 2 - средняя, 3 - высокая.

Будем считать, что информационные величины могут сравниваться только тогда, когда

⁹¹ Саати Т. *Принятие решений. Метод анализа иерархий*. Москва, 1993.

одновременно выполняются следующие три условия:

- 1) сравниваются индивидуальные количества информации, содержащиеся в признаках о принадлежности к соответствующим классам стадии высадки морского десанта, УО или определенных классов их функциональных зон;
- 2) сравниваются величины, рассчитанные для одной стадии высадки морского десанта, одного УО или определенной его функциональной зоны и разных классов;
- 3) сравниваются величины, рассчитанные для различных стадий высадки морского десанта, УО разных или определенных его функциональных зон и разных классов.

Рисунок 1. Иерархическая структурно-логическая модель потока ВТН

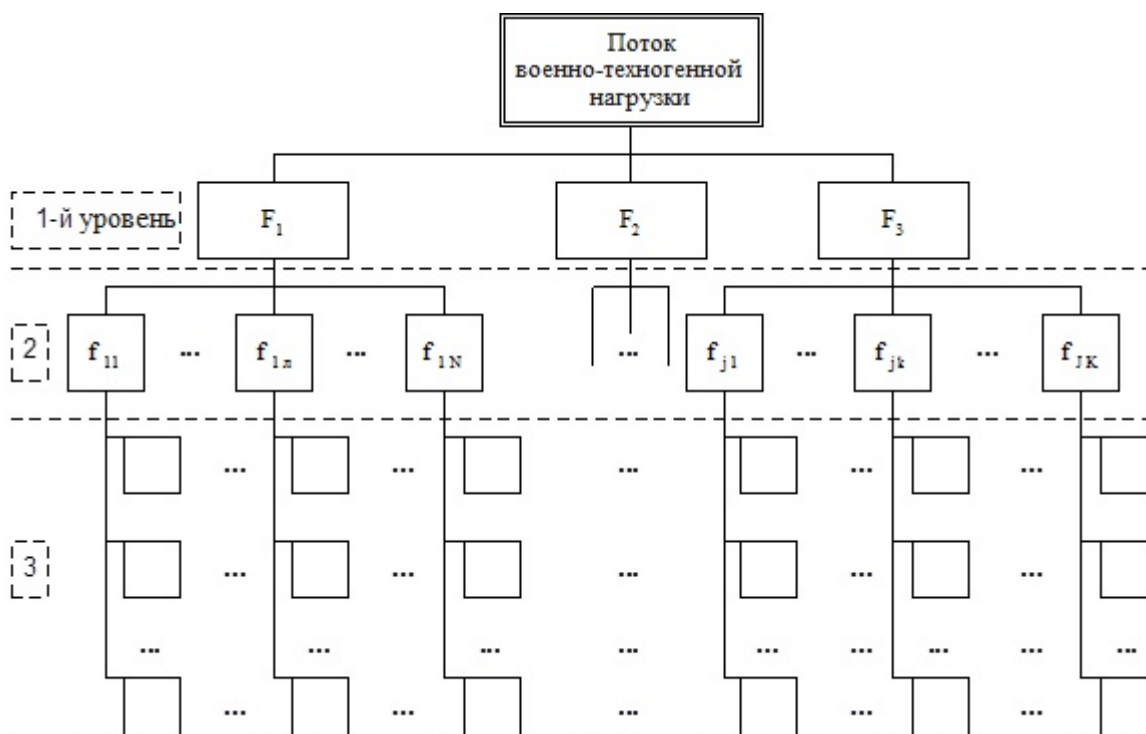


Рисунок 2. Пример куба экоиформационной матрицы

	Высокая	1	0	0
	Средняя	0	0	1
	Низкая	0	1	0
	Фактор1	Фактор2	Фактор3	
БД1 УО1	1	1	1	
БД2 УО2	1	0	1	
БД3 УО3	1	1	0	

Алгоритм вычисления элементов матрицы заключается в следующем. В профиле j -го военнотехногенного фактора (столбец информационной матрицы распределения факторов ВТН) отображается, какое количество информации о вкладе этого фактора в ВТН на УО в каждом из определенных классов содержится в том факте, что данный военнотехногенный фактор действует на акваторию или территорию морского десантного полигона.

Рисунок 3. Причинно-следственная диаграмма Иерархии факторов влияния ВТН

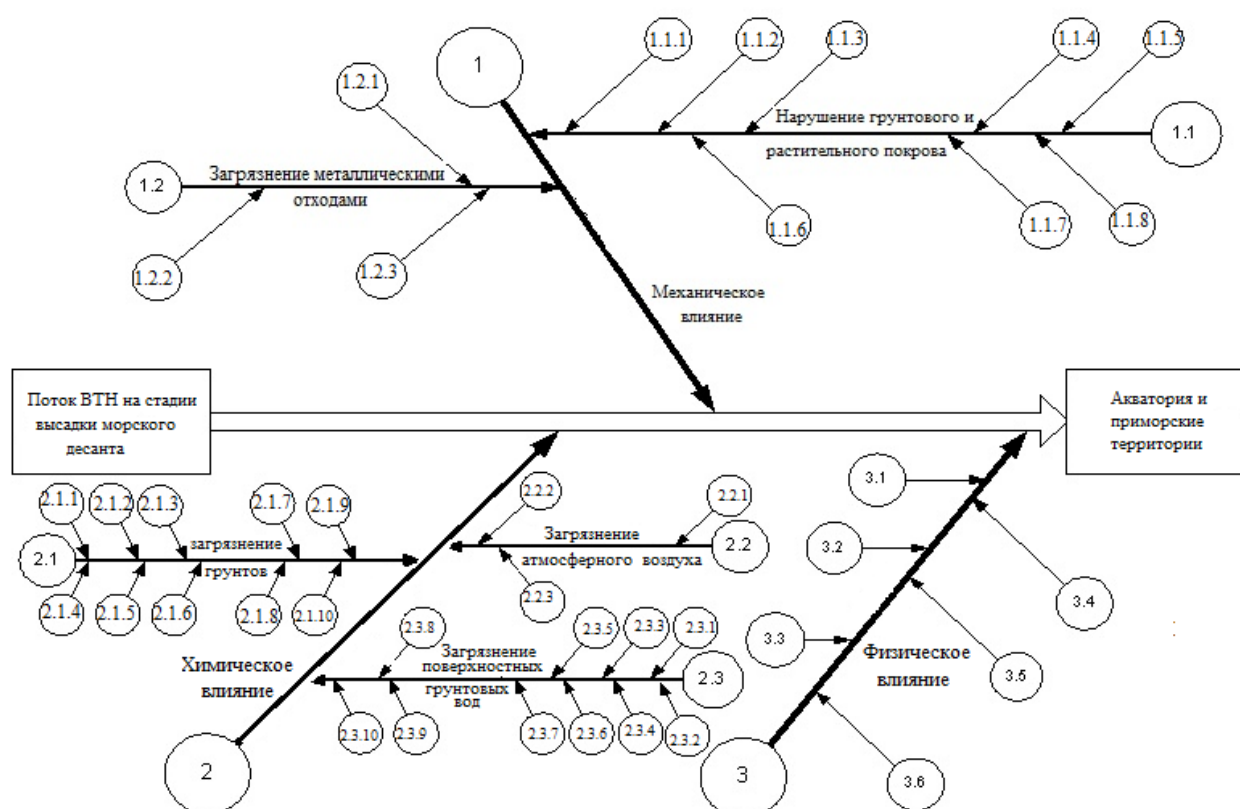
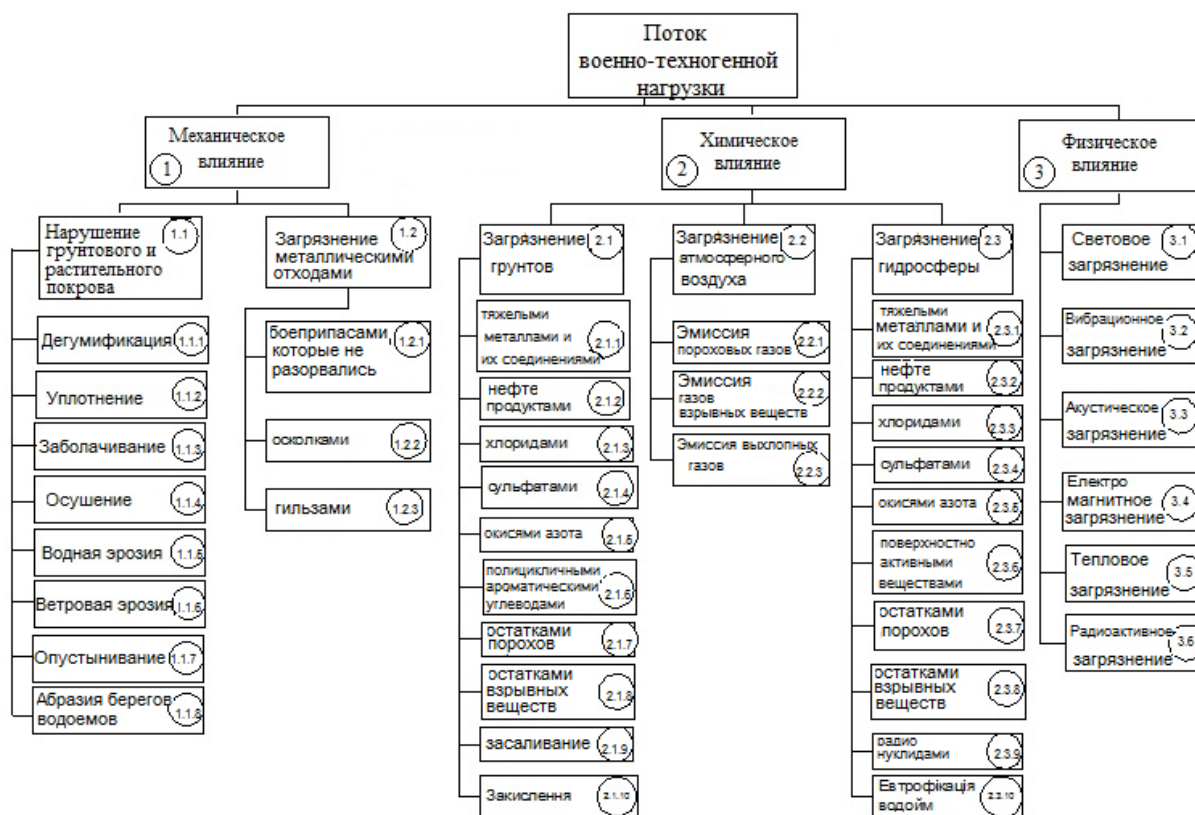


Рисунок 4. Декомпозиция факторов ВТН на подфакторы по результатам диаграммы Исикавы



В профиле i -й стадии высадки морского десанта, УО или определенной его функциональной зоны (строка информационной матрицы влияния ВТН) отображается, какое количество информации о переходе их с факторами ВТН в данный класс содержится в каждом из военно-техногенных факторов воздействия на акваторию или территорию морского десантного полигона. Это означает, что индивидуальные количества информации можно суммировать и ввести интегральный критерий, как аддитивную меру от индивидуальных количеств информации о распределении факторов ВТН.

В обобщенном виде экоинформационную матрицу можно записать так:

$$F = \begin{array}{c|cccc|c} & f_1 & \dots & f_j & \dots & f_n & \\ \hline & f_{11} & \dots & f_{1j} & \dots & f_{1n} & K_1 \\ & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ & f_{i1} & \dots & f_{ij} & \dots & f_{in} & K_i \\ & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ & f_{m1} & \dots & f_{mj} & \dots & f_{mn} & K_m \\ \hline & M_1 & \dots & M_j & \dots & M_n & \\ \hline \end{array},$$

где $f_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{фактор отсутствует} \\ 1, & \text{фактор присутствует} \end{cases}$, $i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}$ – информационный признак

присутствия фактора ВТН; $K_i, i = \overline{1, m}$ – обобщенная информационная оценка стадии высадки морского десанта, функциональной зоны или подзоны УО ВП согласно факторам ВТН; M_j – дифференциальная мощность фактора ВТН для определенной стадии высадки морского десанта или УО. Эти матрицы являются упрощенными, но достаточно адекватными для решения вопроса об аддитивности меры сходства стадий высадки морского десанта или УО и их классов.

Экоинформационная матрица является битным словом, каждый разряд которого соответствует определенному военно-техногенному фактору влияния. Если фактор действует, то соответствующий разряд имеет значение 1, если нет – то 0. Битовое слово с установленными в 1 разрядами, соответствующими военно-техногенным факторам распознаваемых стадий высадки морских десантов или УО, называется их кодовым словом.

Упрощенная экоинформационная модель класса распознавания является битным словом, каждый разряд которого соответствует определенному фактору. Соответствие между битными разрядами и факторами для классов то же, что и для распознаваемых стадий высадки морских десантов УО. Если фактор есть в классе, соответствующий разряд имеет значение 1, если нет – то 0. Битное слово с установленными в 1 разрядами, соответствующими факторам класса, называется его кодовым словом.

Такая модель класса распознавания является упрощенной, так как в ней принято, что все факторы имеют одинаковый вес, равный 1, если они есть в классе, и 0, если их нет, тогда как в полной информационной матрице класса для каждого фактора известно, какое количество информации о принадлежности к этому классу он содержит. Это количество информации не может превышать некоторой максимальной величины, определяемой количеством классов распознавания (мера Хартли):

$$I_{\max} = \log_2 N,$$

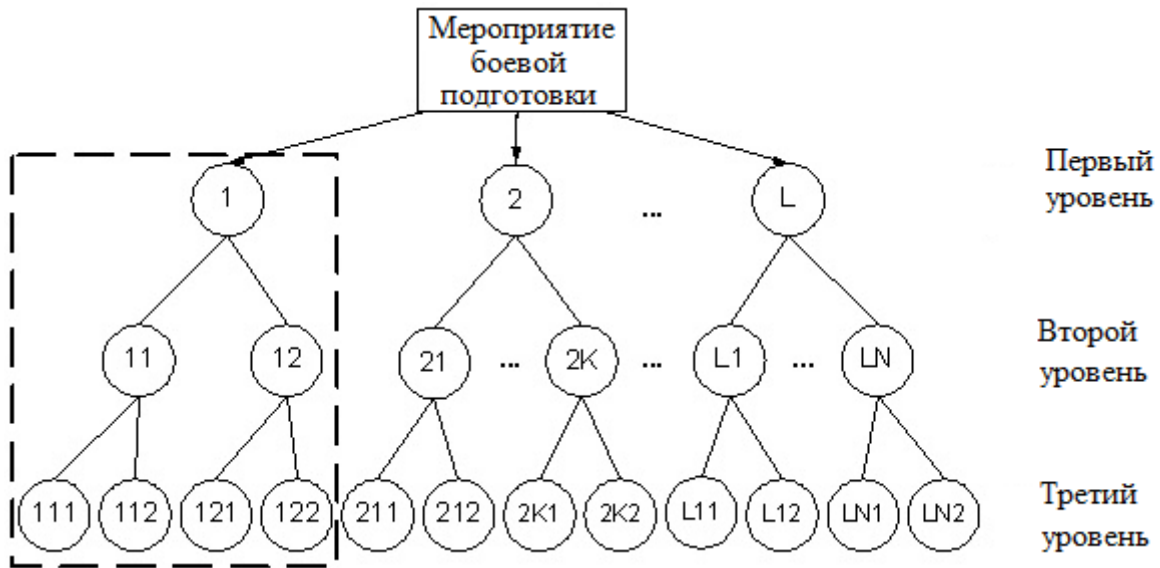
где N – количество классов.

Таким образом, в упрощенной информационной матрице разные классы распознавания отличаются друг от друга только наборами военно-техногенных факторов, которые им отвечают, что обуславливает вариабельность экологических оценок.

Аналогичные соображения будут правильные и для сравнения профилей классов различных стадий высадки морского десанта или УО между собой, что позволяет для проведения классификации по факторам ВТН применить различные модели кластерного анализа.

Для формирования логико-информационной модели ВТН мероприятия БП применим метод декомпозиции, который позволяет выделить его отдельные типичные составляющие мероприятия и изобразить их в виде "иерархического дерева событий". Логико-информационная модель ВТН мероприятий БП с использованием иерархического дерева элементарных событий может быть представлена в виде ориентированного графа (орграфа), который изображает их последовательность и состав (рис. 5).

Рисунок 5. Орграф мероприятий боевой подготовки



Для каждой стадии высадки морских десантов и каждого типичного УО можно составить экоинформационную матрицу ВТН. В соответствии с назначением УО, где проводятся учебные и боевые стрельбы, можно выделить участки акватории и территории, имеющие различную степень ВТН: район высадки, исходное положение для стрельбы, рубежи открытия и прекращения огня (районы огневых позиций), район целей (мишенного поле), тыловой район и защитные буферные зоны безопасности.

Состав узлов орграфа характеризует иерархическую подчиненность определенных задач этого мероприятия БП и их декомпозиции на элементарные события, вклад которых в общую оценку влияния ВТН можно оценить с помощью квалифицированных экспертов.

Чтобы повысить достоверность оценки влияния мер БП на ОС территорий и акваторий морских десантных полигонов, нужно учесть специфику территорий учебных объектов, задействованных в процессе проведения БП.

Состояние военного полигона (ВП) ВМС характеризуем вектором:

$$X_{ВП}^T = (X_1^T, X_2^T, \dots, X_N^T)$$

где $X_{ВП}^T$ - вектор экологического состояния военной природно-техногенной геосистемы;
 $X_i, i = \overline{1, N}$ - векторы экологического состояния отдельных УО ВП.

В общем виде вектор экологического состояния i -го УО ВП может быть представлен в виде

$$X_i^T = (A_i^T, L_i^T, G_i^T, M_i^T, Fl_i^T, Fn_i^T, H_i^T)$$

Где A_i^T - параметры атмосферы;

L_{pi}^T - параметры поверхностных вод;

L_{gi}^T - параметры грунтовых вод;

G_i^T - параметры почв;

M_i^T - компоненты составляющих климатически-метеорологической характеристики окружающей среды;

Fl_i^T - компоненты флоры;

Fn_i^T - компоненты фауны;

H_i^T - компоненты, характеризующие состояние человеческой популяции.

При решении ряда практически важных задач в области экологического оценивания ВТН возникают ситуации, когда или отсутствуют необходимые датчики первичной информации или существующие средства измерений не обеспечивают получение необходимой информации в темпе с процессом, или в наличии есть только качественная информация об объекте экологической оценки. В таких ситуациях необходимо иметь информационные технологии, которые позволяют на основе компьютерной обработки качественной или нечеткой информации об объекте и критерии оценки получить необходимую информацию для экологической оценки.

Рассмотрим задачу многокритериального оценивания влияния ВТН от военных учений на акваториях и территориях морских десантных полигонов в постановке, когда факторы и признаки оценки заданы нечетко, но для которых отношения предпочтения, то есть функция полезности интегрального критерия, задаются четко.

Для решения поставленной задачи оценивания нужно определить и максимизировать функцию полезности интегрального критерия для рассматриваемых объектов оценки:

$$\max \{U(z_1, z_2, \dots, z_k)\},$$

где $z_i = f_i(y \in S), i = 1 \dots k$ – составляющие вектора критериев;

S – множество допустимых оценок.

Основными трудностями, возникающими при решении поставленной задачи, является проблема получения математического описания функции полезности U интегрального критерия. В теории полезности функция полезности U рассматривается и рассчитывается как вероятностная величина, однако для многих сложных неформализованных задач оценить многомерное распределение вероятности ВТН БП очень сложно и такая задача даже может не иметь решения.

Будем рассматривать функцию полезности не как вероятностную, а как нечеткую величину, причем функции принадлежности нечетких множеств рассматриваются как субъективные измерения экспертов, принимающих участие в экологическом оценивании ВТН БП. Если интегральный критерий (цель оценки) представляется слишком сложным, его можно представить в виде иерархии более простых субкритериев.

Элементы иерархии, т. е. факторы оценивания ВТН и его признаки оценивания являются нечеткими множествами.

Метод анализа иерархий (МАИ), являясь методом решения многокритериальных задач в сложной обстановке с иерархическими структурами, включающими неформализованные

элементы, используется в данном случае как косвенный метод определения функций принадлежности нечетких множеств.

Функцию полезности объектов экологического оценивания ВТН можно рассматривать как функцию принадлежности интегрального критерия на множестве объектов оценивания, причем функция принадлежности рассматривается как субъективная, а не как вероятностная величина. Функции принадлежности нечетких множеств, формализующие каждый критерий (сложный, что представляется в виде иерархии, или простой) определяются на множествах факторов и признаков оценивания, при этом указанные множества являются базовыми для нечетких множеств критериев. На каждом уровне мы имеем различные четкие упорядоченные множества, которые состоят из элементов, которые являются нечеткими (качественными) и определяются каждый своей функцией принадлежности. Элементы каждого уровня являются нечеткими подмножествами четко упорядоченной множества и определяются именно в этом смысле.

Пусть иерархия является совокупностью уровней $L_n, n = 1, \dots, h$.

Любой n -й уровень иерархии является совокупностью отдельных элементов $l_n^j, j = 1, \dots, m, m$ - количество элементов данного уровня.

Набор элементов l_n^j являются "нечеткими свойствами" для элементов нижнего $n+1$ -го уровня, то есть l_n^j - это набор нечетких множеств, универсальными множествами этих нечетких множеств являются множества элементов нижних уровней.

Распишем элементы каждого уровня:

Уровень L_{n-1} : $l_{n-1}^1 \quad l_{n-1}^2 \quad l_{n-1}^3 \quad \dots \quad l_{n-1}^{m(n-1)}$.

Уровень L_n : $l_n^1 \quad l_n^2 \quad l_n^3 \quad \dots \quad l_n^{m(n)}$.

Уровень L_{n+1} : $l_{n+1}^1 \quad l_{n+1}^2 \quad l_{n+1}^3 \quad \dots \quad l_{n+1}^{m(n+1)}$.

Моделью процедуры сравнения является матрица парных сравнений (табл. 1), в которой факторы (параметры, признаки) размещены по горизонталям и вертикалям (в верхней строке и в левом крайнем столбце).

Таблица 1. Матрица парных сравнений

Факторы	y_1	y_2	...	y_j	...	y_n
y_1	$a_1 : a_1$	$a_1 : a_2$	...	$a_1 : a_j$	...	$a_1 : a_n$
y_2	$a_2 : a_1$	$a_2 : a_2$	...	$a_2 : a_j$	...	$a_2 : a_n$
...
y_i	$a_i : a_1$	$a_i : a_2$	...	$a_i : a_j$	...	$a_i : a_n$
...
y_n	$a_n : a_1$	$a_n : a_2$	...	$a_n : a_j$	...	$a_n : a_n$

Пусть требуется определить функцию принадлежности $\mu_D(x)$ нечеткого множества D' , которая определяет некоторое качественное понятие. Для этого эксперту предлагается сравнить количественные элементы универсального множества X между собой по степени их

соответствия этому качественному понятию и заполнить матрицу попарных сравнений $A = \{a_{ij}\}$, элементы которой a_{ij} являются оценками степени принадлежности элементов $a_i \in X$ нечеткому множеству D' по сравнению с элементами $a_j \in X$. Функция принадлежности находится как собственный вектор $\vec{\omega}$ матрицы A , соответствующий ее максимальному собственному значению λ_{\max} :

$$A \cdot \omega = \lambda_{\max} \cdot \omega$$

При анализе сложных свойств, которые представляются в виде иерархической системы, описанный подход используется при сравнении составляющих свойства со степенью соответствия этому сложному свойству.

Для того чтобы унифицировать ответы экспертов и сделать проще начальную обработку данных, всем экспертам должен быть задан одинаковый способ оценки (или в виде числа, или в виде отношения чисел) и одна шкала оценок. Оценка не должна быть больше базового числа. Шкала оценок не должна быть очень большой, так как это снижает строгость оценки, но и не должна быть очень мелкой, так как это усложняет вычисления.

Для проведения парных сравнений могут использоваться различные шкалы оценок, например, как в табл. 2.

Таблица 2. Шкала оценок парных сравнений

Оценки парных сравнений	Определение оценки
1	Одинаковая важность
3	Умеренное преимущество одного фактора над другим
5	Существенное или сильное преимущество
7	Выдающееся преимущество
9	Очень сильное преимущество
2, 4, 6, 8	Промежуточные решения между двумя соседними оценками
Обратные величины чисел, которые приведены выше	Если при сравнении одного фактора с другим получено одно из вышеупомянутых чисел (например, 3), то при сравнении другого фактора с первым получим обратную величину (т.е. 1/3)

В этом случае эксперт заполняет клетки таблицы 1. Сравнение фактора самого с собой дает единицу. В первой клетке первой строки эксперт пишет единицу, во второй - результат сравнения первого фактора со вторым (оценку a_{12}), в третий – результат сравнения первого фактора с третьим (оценку a_{13}) и так далее. Переходя ко второй строке, эксперт записывает в первой клетке результат сравнения второго фактора с первым (оценку a_{21}), во второй - единицу, в третьей - результат сравнения второго фактора с третьим (оценку a_{23}) и так далее.

Данные таких таблиц, полученных от m экспертов, сводятся в одну общую таблицу или матрицу сравнений, в каждой ячейке ij которой стоит число a_{ij} , которое равняется количеству оценок преимущества i -го фактора над j -м, полученных от всех m экспертов.

Сумма чисел a_{ij} по строкам с последующим делением на m дает среднюю ранжировку фактора u_i , которая представляет собой показатель обобщенного мнения относительно важности факторов (чем больше сумма i -й строки, тем более важное значение имеет i -й фактор). Относительно суммы по столбцам имеет место обратная картина. Последовательность рангов

факторов строится в порядке уменьшения средних сумм по строкам $a_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^n a_{ij}$ или в порядке

средних сумм по столбцам $a_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^n a_{ij}$ общей матрицы сравнений. Ранг фактора, как и в

методе шкальных оценок, определяется его порядковым номером. Для этого сравниваются суммы баллов каждой строки; наибольшей сумме баллов выставляется 1-й ранг (фактор больше всего влияет на рассматриваемый процесс). Далее выставляются ранги 2, 3, ..., n по мере уменьшения суммы баллов.

Средняя оценка баллов, дисперсия этой оценки и другие показатели определяются по формулам, которые используются для метода шкальных оценок.

Для получения экспертных оценок соответствующих воздействий от военно-техногенной нагрузки эксперты дают соответствующие оценки признакам факторов критериев экологического оценивания.

Для определения наиболее опасного военно-техногенного объекта на последнем этапе применения предложенного метода находим максимальную балльную оценку по интегральному критерию:

$$e^* = \arg \max_{e \in E} f(J_1(e_1), J_2(e_2), \dots, J_n(e_n))$$

Вывод.

Метод рекомендуется к применению для оперативного экспертного оценивания военно-техногенной нагрузки на окружающую природную среду учебных объектов полигона ВМС в условиях прогнозируемого повышения интенсивности боевой подготовки.

Следует отметить такие преимущества метода парных сравнений:

- допускается измерение неравномерно изменяющихся важностей показателей;
- есть большое число сравнений каждого показателя с другими, за счет чего повышается точность и открывается возможность изучения большого количества признаков;
- метод позволяет получить не только среднюю оценку показателя, данную каждым экспертом, но и дисперсию этой оценки, что дает возможность проведения более глубокого статистического анализа;
- эксперт сосредоточивает свое внимание не на всех факторах сразу, а только на двух, сравниваемых в данный момент, что облегчает работу и способствует повышению качества экспертизы.

Уменьшение количества полигонов ВМС приводит к резкому росту военно-техногенной нагрузки на природную среду тех полигонов ВМС, которые остаются, что со временем приводит к потере

их ландшафтной репрезентативности и учебной ценности по признаку воссоздания природных условий операционных зон и районов.

Чтобы повысить достоверность и объективность оценки влияния мероприятий БП ВМС на ОС территорий и акваторий морских десантных полигонов, необходимо разрабатывать и улучшать экспертно-аналитическую информационную систему для проведения экологического мониторинга и принятия управленческих решений по обеспечению экологической безопасности.

Библиография:

Книги и монографии

Cherp O.M. *E`kologicheskaya ocenka i e`kspertiza*. Moskva, 2000, URL: <http://www.ecoline.ru/mc/books/>

Chumachenko S.M. *Metody`ka ranzhuvannya zagroz bioriznomanittyu za yix priory`tetnistyu. Ocinka i napryamky` zmeshennya zagroz bioriznomanittyu Ukrayiny`*. Ky`ev, 2003.

Durdy`necz` V.V. *Social`ni ry`zy`ky` ta social`na bezpeka v umovax pry`rodny`x i texnogenny`x nadzvy`chajny`x sy`tuacij ta katastrof*. Ky`ev, 2001.

Kachy`ns`ky`j A.B. *Ekologichna bezpeka Ukrayiny`: sy`stemny`j analiz perspekty`v pokrashhennya*. Ky`ev, 2001.

Kholling K-S. *E`kologicheskie sistemy`. Adaptivnaya ocenka i upravlenie*. Moskva, 1981.

Margoluis R. *A Guide to Threat Reduction Assessment for Conservation*, Washington, D.C. www.BSPonline.org, 2001.

Moiseev N.N. *Matematicheskie zadachi sistemnogo analiza*. Moskva, 1981.

Peregudov F.I. *Vvedenie v sistemny`j analiz*. Moskva, 1989.

Reteyum A.Yu. *Vtorzhenie v prirodnyuyu sredu. Ocenka vozdejstviya*. Moskva, 1983.

Saati T. *Prinyatie reshenij. Metod analiza ierarkhij*. Moskva, 1993.

Semenova L. A. *Zarubezhny`j opyt ocenok vozdejstviya na prirodnyuyu sredu*. Moskva, 1985.

Shtojer R. *Mnogokriterial`naya optimizaciya. Teoriya, vy`chisleniya i prilozheniya*. Moskva, 1992.

Статьи

Chumachenko S.M. *Metody`chni aspekty` ocinky` i ranzhuvannya zagroz dlya bioriznomanittyu v Ukrayini*, Ky`ev, *Ekologiya i resursy`*, nr. 7, 2003. - s. 77-86.

Ly`senko O.I. *Pro rozvy`tok ponyattya voyenna ekologiya*. Ky`ev, 2004.- nr. 3. - s. 45-49.

Thorpe J. *Threats to Biodiversity in Saskatchewan* / J. Thorpe , R. Godwin - Saskatoon: Saskatchewan Research Council, SRC Publication nr. 11158-1C99, 1999. – s. 75.

O AUTORACH

Ведомости об авторах:

Information about the authors:

Chumachenko Serhii

Doctor of Technical Sciences, Senior
Researcher

National University of Food
Technology, Kyiv, Ukraine,

sergiy23.chumachenko@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-8894-4262>.

Andriiuk Olena

PhD in Physics and Mathematics,

National University of Food
Technology, Kyiv, Ukraine,

nuht_andriuk@ukr.net

<https://orcid.org/0000-0002-6476-8268>.

Vovchanskiy Vasiliy

Head of the Center for Medical
Rehabilitation and Sanatorium
Treatment “TRUSKAVETSKY”

tcvks@ukr.net

<https://orcid.org/0000-0002-6817-8492>.