

УДК 355.45:628.618.2

**МЕТОДИКА ПОБУДОВИ СТРУКТУРИ СКЛАДНОЇ СИСТЕМИ НА
ОСНОВІ ЕКСПЕРТНИХ ОЦІНОК З УРАХУВАННЯМ
КОМПЕТЕНТНОСТІ ЕКСПЕРТІВ**

доктор технічних наук, професор, Даник Ю. Г.

Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського,
м. Київ, Україна

кандидат технічних наук, доцент, Балицький І. І.

Національна академія Державної прикордонної служби України імені
Богдана Хмельницького, м. Хмельницький, Україна

У статті розглянуто вирішення завдання синтезу структур складних систем. Для його розв'язання за основу взятий експертний метод. Однак потреба у встановленні коректних зв'язків між окремими елементами структури з урахуванням різної компетентності експертів щодо окремих питань функціонування різних елементів складних систем обумовила потребу формування відповідного науково-методичного апарату. Обґрунтовано принципи створення і функціонування Системи збору, обробки та аналізу інформації. Для обробки результатів експертного оцінювання структури, складу та призначення елементів складної системи використано матричний опис зв'язків між елементами систем та апарат Булевої алгебри для визначення результуючої структури.

Ключові слова: система, експерт, оцінка, булева алгебра, відстань Левенштейна.

доктор технических наук, профессор, Даник Ю. Г.; кандидат технических наук, доцент, Балицкий И. И. Методика построения структуры сложной системы на основе экспертных оценок с

учетом компетентности экспертов / Национальный университет обороны Украины, г. Киев, Украина; Национальная академия Государственной пограничной службы Украины имени Богдана Хмельницкого, г. Хмельницкий, Украина

В статье рассмотрено решения задачи синтеза структур сложных систем. Для его решения за основу взят экспертный метод. Однако потребность в установлении корректных связей между отдельными элементами структуры с учетом различной компетентности экспертов по отдельным вопросам функционирования различных элементов сложных систем обусловила потребность формирования соответствующего научно-методического аппарата. Обоснованы принципы создания и функционирования системы сбора, обработки и анализа информации. Для обработки результатов экспертного оценивания структуры, состава и назначения элементов сложной системы использовано матричное описание связей между элементами системы и аппарат Булевой алгебры для определения результирующей структуры.

Ключевые слова: система, эксперт, оценка, булева алгебра, расстояние Левенштейна.

Y. G. Danyuk, Doctor of Technical Science, Professor; I. I. Balytskyi, PhD of Technical Sciences, Associate Professor, Method of designing a complex system structure based on the expert assessment taking into account experts' competence / National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovsky, Kyiv, Ukraine, Bohdan Khmelnytskyi National Academy of the State Border Guard Service of Ukraine, Khmelnytskyi, Ukraine

The article deals with the solution of the problem of synthesis of complex systems structures. An expert method is used as the basis for its

solution. However, the need to establish the correct connections between the individual elements of the structure taking into account the different competence of experts on particular issues of the functioning of various elements of complex systems necessitated the formation of the appropriate scientific and methodical apparatus. The principles of creation and functioning of the system of information collection, processing and analysis are substantiated. A matrix description of the connections between the systems elements is used to process the results of expert evaluation of the structure, the composition and appointment of elements of a complex system and the apparatus of the Boolean algebra is used to determine the resultant structure.

Key words: system, expert, evaluation, Boolean algebra, Levenshtein distance.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Для перемоги у сучасній війні необхідне випередження противника в ефективності та якості безперервного ведення розвідки та отримання необхідної інформації, всебічної й повної оцінки всіх видів обстановки. Це вимагає наявності та комплексного застосування систем управління, що забезпечують синхронізоване вирішення типових задач з обробки інформації.

Практика ведення війн нового, високотехнологічного типу, яскраво демонструє, що запорукою перемоги в них є досягнення інформаційної і технологічної переваги над противником та високоефективне управління. При цьому інформаційна перевага передбачає створення систем отримання, обробки та аналізу інформації, надійних мереж, які об'єднують свої сили та надають їм змогу покращеного обміну інформацією.

Важливим сучасним джерелом для отримання розвідувальної інформації є безпілотні авіаційні комплекси. Проте для ефективного їх

застосування необхідна інформаційна інтеграція відповідних підрозділів до загальної єдиної системи збору, обробки та аналізу інформації технічних видів розвідки. Складність функціонування такої системи, обумовлена різноплановістю окремих її елементів та зв'язків між ними, вимагає пошуку особливих підходів до ефективної її побудови. Відсутність чіткого бачення показників ефективності єдиної системи збору, обробки та аналізу інформації технічних видів розвідки ускладнює вирішення завдання оптимальної її побудови. Все це обумовлює актуальність пошуку науково-методичного апарату формування раціональної структури даної системи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано вирішення даної проблеми та на які опирається автор. Питанням розвитку Державної прикордонної служби України з метою підвищення ефективності охорони кордону присвячено багато досліджень. Окремі з них присвячені науково-методичній базі розбудові складних систем прикордонного відомства. Так у роботі [1] розглянута система прикордонної безпеки з точки зору побудови складних систем. Для її моделювання в цьому дослідженні було використано комбінаторний метод з обмеженою кількістю аргументів. Однак при цьому не було приділено достатньої уваги питанням синтезу підструктур системи прикордонної безпеки з урахуванням відповідних обмежень.

У дослідженні [2] розглянуто питання обґрунтування побудови концепції розбудови геоінформаційної системи ДПСУ, яка розглядається як складна система. З метою формалізації завдання побудови концепції та його вирішення у роботі [2] використаний матричний спосіб опису окремих структурних елементів та взаємозв'язків та елементи теорії множин.

Питання оптимізації побудови і вивчення особливостей

функціонування технічних систем розглянуті у [2-3]. Проте наявний у цій праці науково-методичний апарат не може бути безпосередньо використаний в задачах раціональної побудови структур складних систем правоохоронних відомств.

Таким чином, можна зробити висновок, що розвиток науково-методичного забезпечення синтезу структур складних систем у правоохоронних відомствах з урахуванням особливостей їх функціонування є актуальним завданням. Для його вирішення можливо застосувати апарат теорії множин і матричної алгебри з метою формалізації завдання опису системи та її структури.

Мета статті – розробка методики побудови структури складної системи на основі експертних оцінок з урахуванням компетентності експертів та використання її для побудови структури Єдиної системи збору, обробки та аналізу інформації.

Виклад основного матеріалу дослідження. Виходячи з методологічних засад створення та функціонування Системи збору, обробки та аналізу інформації (СЗОАІ) вбачається за доцільне будувати такі систем як єдиний інформаційний простір з інтеграцією інформаційних потоків від усіх суб'єктів забезпечення безпеки держави, що здійснюють розвідувальну діяльність у сфері технічної розвідки, слід формувати за наступними основними принципами: впровадження ідеології відкритих розподілених складних ергатичних інформаційно-керуючих систем, інваріантних до рівня управління з можливістю інтеграції до Єдиної автоматизованої системи управління Збройних Сил України; інтеграція всіх наявних технічних засобів розвідки від тактичного до стратегічного рівня (формування єдиного інформаційного простору) з послідовною селекцією і узагальненням інформації, формуванням рекомендацій до прийняття рішень та горизонтально-вертикальним доступом до неї споживачів;

використання захищених мережевих та геоінформаційних технологій, комплектування мобільним, взаємозамінним, стандартизованим модульним обладнанням для досягнення високого рівня сумісності, взаємозамінності та гнучкості; впровадження циклічності етапів: планування; збір інформації; обробка; розповсюдження; управління системою з реалізацією в режимі часу, близькому до реального, інформаційних запитів для усіх рівнів ієрархії вертикально-горизонтальних зв'язків з розмежуванням доступу; реалізація динамічних властивостей системи у ситуативній структурно-параметричній адаптивності (реконфігурації) та нарощування, залежно від типу, щільності потоку інформаційних запитів та динаміки зміни поточної ситуації; забезпечення високих показників оперативності, достовірності та повноти вихідної інформації.

Враховуючи складність формалізації завдання оптимізації побудови структури ЄСЗОАІ з урахуванням вказаних вище принципів, яка обумовлена відсутністю відповідних критеріїв та показників ефективності функціонування ЄСЗОАІ, для його вирішення пропонується використати метод експертних оцінок. Однак потребує уточнення методика виставлення та обробки експертних оцінок. На першому етапі пропонується залучення експертів для формування впорядкованої множини (кортежу) елементів структури складної системи. Позначимо цей кортеж E . Оскільки окремі назви елементів системи, у відповідях різних експертів можуть повторюватись, для уникнення цих повторень пропонується застосувати апарат нечіткого порівняння текстової інформації на основі метрики Левенштейна [4-5]. Тому остаточно кортеж E пропонується знаходити за виразом

$$E = P\left(\bigcup_i O^{<i>}\right), \quad (1)$$

де: $O^{<i>}$ – кортеж елементів структури складної системи запропонований i -тим експертом; $P()$ – оператор виключення подібних

за метрикою Левенштейна елементів множини (елементи виключаються у випадку, коли відстань перевищує пороговий рівень) алгоритм якого наведений на рис. 1.

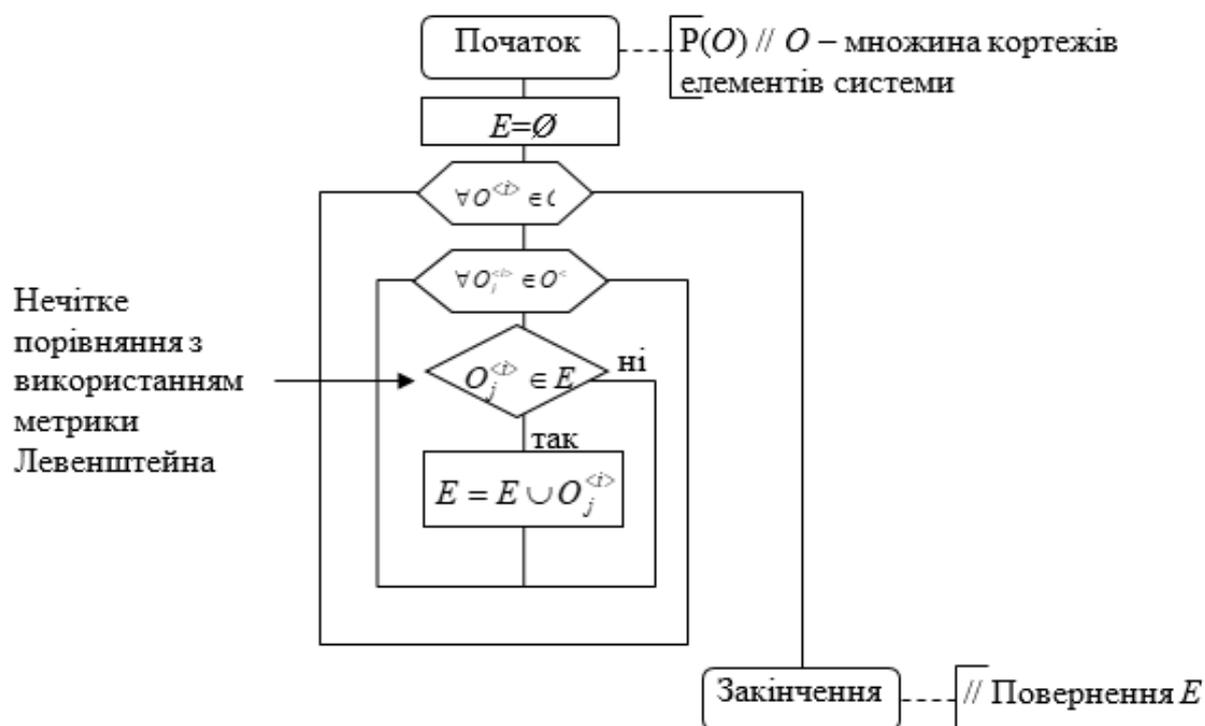


Рисунок 1. Алгоритм формування кортежу E на основі експертних оцінок з виключенням подібних на основі нечіткого порівняння тексту елементів

Кількість елементів кортежу E (потужність множини) позначимо N . В результаті використання наведеного вище підходу було отримано кортеж E , частина якого відображена в табл. 1.

Таблиця 1

**Фрагмент впорядкованої множини елементів (кортежу E)
структури ЄСЗОАІ**

№	Назва елементу
1	Головний ситуаційний центр
2	Координаційний центр
3	Центр збору, обробки, аналізу інформації технічної розвідки
4	Інформаційна компонента МО України (щодо технічних комплексів та засобів моніторингу)
5	Підрозділи БАК цільового резерву
6	Підрозділи БАК в зоні КС
7	Первинні та вторинні данні від космічних систем
8	Інформаційна підтримка
9	МОУ
10	НАНУ
11	ДКАУ
...	...

Після визначення елементів складної системи необхідне їх впорядкування та встановлення зв'язків (рисунок 2).

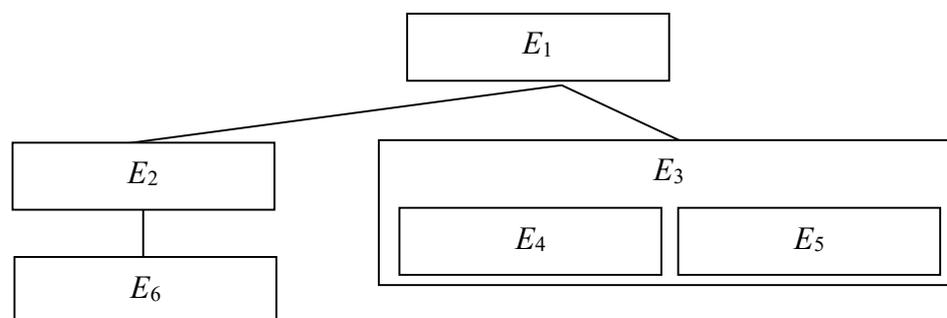


Рисунок 2. Впорядкування елементів системи та структурні зв'язки між ними

В прикладі наведеному на рисунку 2 наявні зв'язки між елементами E_1 і E_2 , E_2 і E_6 , E_1 і E_3 . Для побудови структури складної системи необхідно описати ці зв'язки між окремими елементами кортежу E . З цією метою пропонується використати квадратну матрицю зв'язків M_1 , порядок якої дорівнює N . Елементи m_{1ij} цієї

матриці бінарно відображають наявність зв'язку між i -тим та j -тим елементами кортежу E . У випадку якщо зв'язку немає $m_{1ij}=0$, якщо наявний зв'язок $m_{1ij}=1$. Для структури відображеної на рисунку 2 така матриця буде мати вигляд:

$$M_1 = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad M_2 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Відповідно до визначення, M_1 є симетричною відносно головної діагоналі.

Для опису підпорядкованості елементів складної системи пропонується використати бінарну квадратну матрицю M_2 з порядком N . У випадку, якщо j -тий елемент кортежу E підпорядкований i -тому елементу, $m_{2ij}=1$, інакше $m_{2ij}=0$.

Слід відмітити, що хоча подібно до M_1 елементи головної діагоналі в матриці M_2 дорівнюють 1, M_2 на відміну від M_1 не є симетричною відносно головної діагоналі.

Отримання наборів матриць M_1 - M_2 пропонується з використанням методу експертних оцінок. Позначимо: матриці M_1 - M_2 заповнені l -тим експертом як $M_1^{<l>}$ і $M_2^{<l>}$; кількість експертів - k . Однак при оцінці структурних зв'язків у складних системах експерти можуть бути неоднаково компетентними щодо особливостей функціонування усіх їх елементів. З метою «відбраковки» помилкових даних пропонується на основі керівних документів створення «еталонних» матриць ME_1 - ME_2 . У цих матрицях відображена та частина структури складної системи, яка є обов'язковою, проте вона, звичайно, не є повною. Однак ME_1 - ME_2 можливо використовувати для оцінки даних наданих експертами.

Оскільки у «еталонних» матрицях міститься неповна

інформація, при аналізі правильності даних експертизи будемо брати до уваги лише одиничні елементи. У випадку визначення порушення ідентичності таких одиничних елементів матриці для i -того рядка будемо вважати дані надані цим експертом по i -тому елементу системи (кортежу E) недостовірними. Відповідний критерій істинності інформації наданий l -тим експертом по i -тому елементу системи відображений у логічному виразі (2).

$$b_i^{<l>} = \left(\bigcap_{j=1}^N ME_{1ij} \supset M_{1ij}^{<l>} \right) \cap \left(\bigcap_{j=1}^N ME_{2ij} \supset M_{2ij}^{<l>} \right). \quad (2)$$

Вираз (2) дозволяє оцінити правильність даних наданих l -тим експертом по i -тому елементу системи. Для остаточного отримання матриць M_1 і M_2 на основі даних наданих експертами з урахуванням (2) пропонується проводити з використанням виразів (3)-(4).

$$M_{1ij} = \begin{cases} 1, \sum_{l=1}^k (M_{1ij}^{<l>} \cap b_i^{<l>}) \geq Kd \cdot \sum_{l=1}^k b_i^{<l>} \\ 0, \sum_{l=1}^k (M_{1ij}^{<l>} \cap b_i^{<l>}) < Kd \cdot \sum_{l=1}^k b_i^{<l>} \end{cases}, \quad (3)$$

$$M_{2ij} = \begin{cases} 1, \sum_{l=1}^k (M_{2ij}^{<l>} \cap b_i^{<l>}) \geq Kd \cdot \sum_{l=1}^k b_i^{<l>} \\ 0, \sum_{l=1}^k (M_{2ij}^{<l>} \cap b_i^{<l>}) < Kd \cdot \sum_{l=1}^k b_i^{<l>} \end{cases}, \quad (4)$$

де: Kd – коефіцієнт в діапазоні від 0 до 1, який дозволяє визначити довірчий рівень.

У випадку, якщо з переліку компетентних по i -тому елементу системи експертів, більш ніж $Kd \cdot 100\%$ вказали відповідний зв'язок (підпорядкованість), цей зв'язок (ця підпорядкованість) приймається у відповідній результуючій матриці.

Враховуючи вищевикладене, остаточна методика побудови структури складної системи на основі експертних оцінок з урахуванням компетентності експертів включатиме такі: формування впорядкованої множини (кортежу) E елементів системи за виразом (1)

з урахуванням алгоритму 1 на основі експертних оцінок; визначення експертами матриць $M_1^{<l>}$ і $M_2^{<l>}$; проведення за виразом (2) правильності даних наданих експертами; розрахунок з використанням (3) остаточних матриць M_1 і M_2 , що визначають структуру системи; побудова схеми, що відображає структуру системи з застосуванням M_1 і M_2 .

З використанням описаної вище методики була розв'язана задача побудови структури «Єдиної системи збору, обробки та аналізу інформації».

Висновки. Представлена в даному дослідженні методика базується на використанні методу експертних оцінок і формалізує завдання отримання та обробки інформації від експертів про структуру складної системи. В ході обробки запропонований механізм «відбраковки» завідомо невірних даних наданих експертами. При обробці експертної інформації запропоновано використання апарату нечіткого порівняння тексту. Розроблена методика використана для побудови узагальненої структурної схеми Єдиної системи збору, обробки та аналізу інформації.

Література:

1. Мул, Д. А. (2016). Концептуальні підходи до моделювання системи прикордонної безпеки, Р. В. Рачок, Д. А. Мул, Є. В. Прокопенко, Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Київ, ВІКНУ, 51, 131–138.
2. Рачок, Р. В. (2017). Формування концепції розбудови геоінформаційної системи у сфері забезпечення прикордонної безпеки, Р. В. Рачок, Збірник наукових праць. Серія: військові та технічні науки. Хмельницький, Вид-во НАДПСУ, 2(72), 295–310.

3. Боровик, О. В. (2006). Теорія технічних систем: навчальний посібник, О. В. Боровик, С. О. Барановська. Хмельницький, Вид-во НАДПСУ, 96.

4. Komarnytska, O. I. (2014). Application of artificial intelligence models for content comparison of text information, O. I. Комарницька, Філологічні трактати: Вісник Сумського державного університету. Серія: Філологічні науки, Суми. Т. 6, 3, 00–106.

5. Комарницька, О. І. (2015). Моделі штучного інтелекту для порівняння текстової інформації за змістом, О. І. Комарницька, Лінгвістичні студії: зб. наук. праць, Донецький нац. ун-т. Вінниця, ДонНУ, 30, 135–139.

References:

1. Mul, D. A. (2016). Conceptual approaches to the design of the border security system [Kontseptualni pidkhody do modeliuвання systemy prykordonnoi bezpeky], R. V. Rachok, D. A. Mul, Ye. V. Prokopenko, *Zbirnyk naukovykh prats Viiskovoho instytutu Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka*. Kiev, VIKNU, no. 51, 131–138. [in Ukrainian].

2. Rachok, R. V. (2017). Formation of the concept of building a geographic information system in the field of border security [Formuvannya kontseptsii rozbudovy heoinformatsiinoi systemy u sferi zabezpechennia prykordonnoi bezpeky], R. V. Rachok, *Zbirnyk naukovykh prats. Seriya: viiskovi ta tekhnichni nauky*, Khmelnytskyi, Vyd-vo NADPSU, no 2(72), 295–310. [in Ukrainian].

3. Borovyk, O. V. (2006). Theory of technical systems [Teoriia tekhnichnykh system], navchalnyi posibnyk, O. V. Borovyk, S. O. Baranovska. Khmelnytskyi, Vyd-vo NADPSU, 96. [in Ukrainian].

4. Komarnytska, O. I. (2014). Application of artificial intelligence models for content comparison of text information, O. I. Komarnytska, *Filolohichni*

traktaty: Visnyk Sumskoho derzhavnogo universytetu. Serii: Filolohichni nauky. Sumy. T. 6. no. 3, 100–106. [in Ukrainian].

5. Komarnytska, O. I. (2015). Modeli shtuchnoho intelektu dlia porivniannia tekstovoi informatsii za zmistom, O. I. Komarnytska, *Linhvistychni studii: zb. nauk. prats / Donetskyi nats. un-t; Vinnytsia, DonNU, no, 30, 135–139. [in Ukrainian].*