

В.В. ЛЕВКОВ, ад'юнкт Національної академії
Держприкордонслужби України, м. Хмельницький

**МЕТОДИКА СТРУКТУРНОГО СИНТЕЗУ ПІДСИСТЕМ
УТИЛІТ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ОХОРОНИ КОРДОНУ**

Запропоновано методику визначення множини раціональних структур підсистем утиліт систем електрозабезпечення технічних засобів охорони кордону на основі використання потенціалу відновлюваних джерел енергії. Обґрунтовано, що кількісний та якісний склад підсистеми утиліт доцільно визначати за допомогою апарату алгебри логіки, шляхом використання формалізованих тотожностей логічних висловлювань. Методика може використовуватись для отримання множини альтернативних наборів утиліт, що у перспективі забезпечить створення науково-методичного апарату з генерування оптимальних структур систем електроживлення технічних засобів охорони кордону.

Ключові слова: система електрозабезпечення, відновлювані джерела енергії, структурний синтез, утиліти, методика.

Вступ. Сучасний стан безпекового середовища України характеризується динамічно зростаючою напруженістю, доповненням глобальних викликів та загроз регіональним і геополітичним суперництвом, кризовими проявами в системі міжнародних відносин та активною експлуатацією внутрішніх проблем держави зовнішніми силами [1]. Потенційні виклики та загрози все більше набувають реального характеру, особливо щодо порушення державного суверенітету, територіальної цілісності та недоторканності кордонів України. А отже, створюються сприятливі умови щодо здійснення різних видів незаконної транскордонної діяльності, найбільшу небезпеку з яких має переправлення зброї, боєприпасів, вибухових речовин, інших засобів терору та ведення бойових дій, а ймовірно – і зброї масового ураження. При цьому, проявляються спроби провокацій та негативного впливу на персонал правоохоронних органів і військових формувань. Такі умови обстановки, з одного боку, ускладнюють функціонування системи забезпечення прикордонної безпеки, а з іншого – обумовлюють необхідність підвищення вимог до виконання завдань відповідальними органами. Зважаючи на це, керівництву виконавчих органів державної влади сектору національної безпеки необхідно приймати виважені, однак перспективні (навіть, інноваційні) рішення щодо напрямів реалізації політики в контексті задекларованого зовнішньополітичного

курсу держави на формування спільного з Європою безпекового середовища.

Значна робота у цьому напрямі вже проведена і в Державній прикордонній службі України, зокрема, щодо переоснащення парку технічних засобів охорони кордону (ТЗОК) на зразки нового покоління.

Однак, складно підвищувати ефективність функціонування системи охорони кордону при наявній обмеженості ресурсного забезпечення (перш за все, енергетичного та фінансового). Зокрема, широке застосування ТЗОК (з метою створення вздовж лінії державного кордону суцільних за простором та часом зон візуального, радіотехнічного, інфрачервоного та інших видів спостереження, що передбачено концепцією [2]), потребує безперерійного функціонування їх систем електрозабезпечення (СЕЗ). Проблеми, пов'язані з постачанням електричної енергії для живлення елементів системи технічного контролю державного кордону (вони описані у роботі [3]) можна віднести до внутрішніх загроз прикордонній безпеці. Також в роботі [3] висунуто гіпотезу про те, що задовольнити енергетичні потреби (досягнути енергонезалежності) ТЗОК можливо шляхом використання потенціалу відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). Зокрема, щодо потреб Держприкордонслужби на увагу заслуговують перетворювачі сонячної, вітрової, геотермальної енергії, енергії річок та морських хвиль.

Справедливість гіпотез, аналогічних висунутій, доведено у багатьох джерелах (зокрема [4, 5]) на прикладах забезпечення електроенергією споживачів у різних сферах життєдіяльності людства. Стосовно ж порядку організації електрозабезпечення технічних засобів охорони кордону на основі використання потенціалу (ОВП) ВДЕ автором проведено роботу щодо змістовного опису та обґрунтування математичної моделі генерації раціональних структур підсистем первинних перетворювачів систем електрозабезпечення ТЗОК. На сьогоднішній день триває апробація цього науково-методичного апарату та проводиться експериментальне (дослідне) тестування.

Наступним кроком проектування системи автономного електрозабезпечення технічних засобів охорони кордону на ОВП ВДЕ є розробка методики структурного синтезу підсистеми утиліт, за допомогою якої здійснюється отримання та перетворення електричної енергії від підсистеми первинних перетворювачів, а також її накопичення та транзит до кінцевих споживачів. Відповідно, ця підсистема структурно є проміжною між первинними перетворювачами та технічними засобами

охорони кордону (рис. 1). При цьому структуру підсистеми утиліт вважатиме раціональною, якщо її елементи, щонайменше, відповідають умовам функціональної придатності, стійкості, та достатності.

Означимо, що придатність характеризує елементи підсистеми утиліт СЕЗ щодо їх відповідності вимогам якості, які до них висуваються. Достатність – підсистема утиліт СЕЗ має гарантовано забезпечувати встановлений графік електропостачання ТЗОК. Стійкість – елементи підсистеми утиліт СЕЗ мають функціонувати у визначених умовах експлуатації, а також мати можливість сумісної роботи.



Рис. 1 – Структурна схема локальної СЕЗ на ОВП ВДЕ

У результаті аналізу досліджень та робіт [6-8] автором встановлено, що задачі структурного синтезу технічних об'єктів різних класів можуть бути розв'язані з використанням математичного апарату алгебри логіки. Але для реалізації логічних операцій необхідно формалізувати у булевому просторі (створивши відповідні матриці початкових даних) актуальні умови багатофакторності: параметри та функції окремих елементів підсистеми утиліт та зовнішнього середовища, обмеження та специфіку порядку використання ТЗОК тощо.

Отже, **метою статті** є обґрунтування методики структурного синтезу підсистем утиліт систем електрозабезпечення ТЗОК на основі використання потенціалу відновлюваних джерел енергії.

Постановка завдання. Для досягнення мети в роботі вирішено такі завдання:

- сформульовано загальний алгоритм опису методики;
- визначено початкові дані, які характеризують множини елементів підсистеми утиліт; формалізовано їх локальні функції, вимоги та обмеження;
- розроблено цільову функцію щодо генерації раціональних структур підсистем утиліт СЕЗ ТЗОК на ОВП ВДЕ.

Результати досліджень. Основні етапи вирішення визначених завдань структурного синтезу підсистем утиліт СЕЗ ТЗОК на ОВП ВДЕ в рамках запропонованої методики вбачається доцільним представити у вигляді наступного переліку:

1. Визначення функцій підсистеми утиліт та формалізація масиву початкових даних для генерації альтернативних раціональних структур підсистеми утиліт.

2. Формалізація цільової функції генерації альтернативних раціональних структур підсистеми утиліт.

3. Формалізація системи обмежень за показниками:

3.1. Придатності (характеристиками якості);

3.2. Стійкості у визначених умовах експлуатації (допустимі діапазони температури, вологості тощо);

3.3. Достатності щодо гарантованого задоволення енергетичних потреб кінцевих споживачів (характеристики струму: напруга, її вид, потужність, частота, модуляція, синусоїдальність).

4. Побудова загального переліку альтернативних елементів підсистеми утиліт. Згідно кожної функції визначається марочний склад тих елементів (див. п. 1), які можуть забезпечити її виконання. Далі здійснюється заповнення матриці відповідними значеннями початкових даних для генерації альтернативних раціональних структур підсистеми утиліт.

5. Відбір елементів підсистеми утиліт за системою обмежень п. 3 – присвоєння булевим змінним елементів відповідних значень: "1" або "0".

На даному етапі відбувається відбір лише тих елементів підсистеми утиліт СЕЗ, які (а) за частковими показниками якості будуть обов'язково відповідати вимогам стандартів якості, які до них висуваються, (б) стійко працювати у визначених умовах експлуатації, а також мати можливість сумісної роботи, (в) гарантовано задовольняти енергетичні потреби кінцевих споживачів (ТЗОК).

6. Застосування цільової функції (згідно п. 2) та правил мінімізації булевих функцій з метою генерації альтернативних раціональних структур підсистеми утиліт.

Разом із цим, зазначений перелік скорочено можна представити як алгоритм послідовних дій, зображений на рис. 2.

Відповідно до п.п. 1,2 альтернативні структури будуть складатись з сукупності утиліт, функції яких забезпечуватимуть вхідні параметри електроенергії для ТЗОК. Такими функціями утиліт будемо вважати: комутацію електроенергії, що отримується з первинних перетворювачів; функцію заряджання пристроїв акумуляції енергії; функцію накопичення та зберігання енергії; перетворення характеристик енергії до необхідних параметрів, тощо.



Рис. 2 – Загальний алгоритм опису методики структурного синтезу підсистем утиліт систем електрозабезпечення ТЗОК на ОВП ВДЕ

Згідно п. 3 формалізацію обмежень проведемо через їх об'єднання у групи за фізичною суттю та часовим розподілом впливу:

обмеження 1-го роду (п.п. 3.1) – це числові та лінгвістичні характеристики, яким повинні обов'язково відповідати всі утиліти; дана група обмежень відображає загальний (концептуальний) підхід щодо використання утиліт (у структурі підсистеми);

обмеження 2-го роду (п.п. 3.2) – це параметри умов функціонування утиліт; дана група обмежень являє собою набір характеристик певних ділянок місцевості та їх значень в окремі періоди року та доби, що визначають можливість нормального функціонування підсистеми на конкретних ділянках відповідальності підрозділу охорони кордону;

обмеження 3-го роду (п.п. 3.3) – це нормативні значення показників виконання завдань, що покладаються на підсистему утиліт (в складі СЕЗ).

Таблиця 1 – Множина допустимих елементів підсистем утиліт СЕЗ

Елементи підсистем утиліт СЕЗ на ОВП ВДЕ			Локальні функції утиліт СЕЗ на ОВП ВДЕ, х								
№ з/п	Вид (m)	Марка (n)	1	2	3	4	5	6	...	X	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	Перетворювачі (П)	П1	$b_{1/1}^{(1)}$								
		П2	$b_{1/2}^{(1)}$								
									
		ПN	$b_{1/N}^{(1)}$								
2	Зарядні пристрої (З)	З1		$b_{2/1}^{(2)}$							
		З2		$b_{2/2}^{(2)}$							
								
		ЗN		$b_{2/N}^{(2)}$							
3	Пристрої акумуляції електроенергії (А)	А1			$b_{3/1}^{(3)}$						
		А2			$b_{3/2}^{(3)}$						
							
		АН			$b_{3/N}^{(3)}$						
4	Інвертори (Ін)	Ін1				$b_{4/1}^{(4)}$					
		Ін2				$b_{4/2}^{(4)}$					
						
		ІнN				$b_{4/N}^{(4)}$					
5	Контролери (К)	К1					$b_{5/1}^{(5)}$				
		К2					$b_{5/2}^{(5)}$				
					
		КN					$b_{5/N}^{(5)}$				
6	Стабілізатори (С)	С1						$b_{6/1}^{(6)}$			
		С2						$b_{6/2}^{(6)}$			
				
		СN						$b_{6/N}^{(6)}$			
...			
M	M	M1								$b_{M/1}^{(X)}$	
		M2								$b_{M/2}^{(X)}$	
		
		MN								$b_{M/N}^{(X)}$	

На етапі відпрацювання п. 4, як основного у алгоритмі опису методики, множину допустимих складових підсистем утиліт та їх модифікацій у сукупній структурі СЕЗ необхідно представити у вигляді табл. 1.

Формування теоретично можливих варіантів структур підсистеми утиліт СЕЗ на ОВП ВДЕ здійснюємо за допомогою апарату алгебри логіки, що дозволяє істотно скоротити кількість завідомо нерациональних математичних операцій шляхом використання таких тотожностей логічних висловлювань [9], як:

комутативність: $a \wedge b \equiv b \wedge a$, $a \vee b \equiv b \vee a$;

дистрибутивність: $a \wedge (b \vee c) \equiv (a \wedge b) \vee (a \wedge c)$, $a \vee (b \wedge c) \equiv (a \vee b) \wedge (a \vee c)$;

ідемпотентність: $a \wedge a \equiv a$, $a \vee a \equiv a$;

поглинання $(a \wedge b) \vee a \equiv a$, $(a \vee b) \wedge a \equiv a$.

Використовуючи зазначене, загальне подання математичного апарату методики постає у вигляді цільової функції, що характеризує всі можливі структури підсистеми утиліт СЕЗ на ОВП ВДЕ, при гарантованому виконанні всіх функцій, які покладаються на окремі елементи та набуває наступного вигляду:

$$z(1\dots x\dots X) = f(b_{m/n}^{(x)}) = \bigotimes_{x=1, m=1, n=1}^{X, M, N} b_{m/n}^{(x)} = \bigwedge_{x=1}^X \left(\bigvee_{m=1, n=1}^{M, N} b_{m/n}^{(x)} \right), \quad (1)$$

звідки:

$$\begin{aligned} z(1\dots X) &= (b_{I_1}^{(1)} \vee b_{I_2}^{(1)} \vee \dots \vee b_{I_n}^{(1)} \vee \dots \vee b_{I_N}^{(1)}) \wedge \\ &\wedge (b_{3_1}^{(2)} \vee b_{3_2}^{(2)} \vee \dots \vee b_{3_n}^{(2)} \vee \dots \vee b_{3_N}^{(2)}) \wedge \dots \wedge \\ &\wedge (b_{m/1}^{(x)} \vee b_{m/2}^{(x)} \vee \dots \vee b_{m/n}^{(x)} \vee \dots \vee b_{m/N}^{(x)}) \wedge \dots \wedge \\ &\wedge (b_{C_1}^{(X)} \vee b_{C_2}^{(X)} \vee \dots \vee b_{C_n}^{(X)} \vee \dots \vee b_{C_N}^{(X)}), \end{aligned}$$

за умов $b_{m/n}^{(x)} \neq 0$,

де $z(x)$ – функція, що характеризує всі варіанти компоновок у x -му стовпці таблиці при $b_{m/n}^{(x)} \neq 0$; $b_{m/n}^{(x)}$ – булева змінна для визначеної x -ї функції утиліт, яка може бути виконана елементом підсистеми m -го виду n -ї марки ($x = (1\dots X)$, $m = (1\dots M)$, $n = (1\dots N)$, $b_{m/n}^{(x)} = \{1; 0\}$); \otimes – знак логіко-функціональної залежності між рядками та стовпцями матриці булевого простору.

В подальшому, описаний математичний інструментарій (1) дозволяє на завершальних етапах, зазначених у п.п. 5,6 (рис. 2), за до-

помогою електронно-обчислювальної техніки отримати множину раціональних структур підсистем утиліт СЕЗ технічних засобів охорони кордону на основі використання потенціалу відновлюваних джерел енергії, а також забезпечить спрощення завдання щодо здійснення загальної оцінки енергетичних та економічних характеристик генерованих наборів обладнання.

Висновки і напрями подальших досліджень. Таким чином, у статті запропоновано методіку структурного синтезу підсистем утиліт систем електрозабезпечення на основі використання потенціалу відновлюваних джерел енергії. Безпосередньо як науковий інструментарій генерації раціональних структур підсистем утиліт в методиці застосовано математичний апарат алгебри логіки в частині формування та мінімізації булевих функцій. При цьому раціональність отриманих структур визначається відповідністю властивостям функціональної придатності, стійкості та достатності.

Оприлюднені у даній роботі результати досліджень, разом із раніше обґрунтованою математичною моделлю генерації раціональних структур підсистем первинних перетворювачів, є підґрунтям для подальшого опрацювання комплексної методіки синтезу структури СЕЗ, яка гарантовано забезпечуватиме встановлений графік електропостачання з відповідними параметрами струму з метою використання технічних засобів в охороні кордону.

Список літератури: 1. *Купрієнко Д.А.* Аналіз проблеми розвитку інтегрованого управління кордонами в Україні / *Д.А. Купрієнко, Ю.А. Дем'янюк* // Перспективи розвитку озброєння та військової техніки Сухопутних військ: Міжнар. наук.-техн. конф., 4-16 травня 2014 р.: тези доп. – Львів, 2014. – С. 139. 2. Указ Президента України від 19.06.06 № 546/2006 "Про Концепцію розвитку Державної прикордонної служби України на період до 2015 р." – К.: АДПСУ, 2006 р. 3. *Купрієнко Д.А.* Перспективи впровадження альтернативних джерел електроенергії у контексті забезпечення прикордонної безпеки України / *Д.А. Купрієнко, В.В. Левков, В.А. Собченко* // Збірн. наук. пр. Серія: військові та технічні науки / Нац. академія Держприкордонслужби України. – Хмельницький, 2012. – Вип. 57. – С. 116-121. 4. Вітроенергетичні системи малої потужності // Зелена енергетика. – 2004. – №1 (13). – С. 14-16. 5. *Коробко Б.П.* Сонце і вітер для сільського двору й дачного котеджу / *Б.П. Коробко, О.С. Глуценко, В.І. Шевчук* // Ринок інсталяцій. – № 2. – С. 32. 6. *Анкудинов Г.И.* Синтез структуры сложных объектов. Логико-комбинаторный подход / *Г.И. Анкудинов.* – Ленинград: Издательство Ленинградского университета, 1986. – 260 с. 7. *Боровик О.В.* Методика синтезу системи технічного контролю державного кордону в умовах однорідності параметрів середовища функціонування / *О.В. Боровик, Д.А. Купрієнко* // Зб. наук. пр. "Труди академії" / за ред. І.С. Руснака. – К.: НАОУ, 2007. – №7 (80). – С. 186-194. 8. *Цвиркун А.Д.* Структура многоуровневых крупномасштабных систем. Синтез и планирование развития / *А.Д. Цвиркун, В.К. Акинфиев.* – М.: Наука, 1993. – 160 с. 9. *Кравченко В.Ф.* Алгебра логики, атомарные функции и вейвлеты в физических приложениях / *В.Ф. Кравченко, В.Л. Рвачев.* – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 416 с.

Bibliography (transliterated): 1. Kupriyenko, D.A. and Yu.A. Dem'yanyuk. "Analiz problemy rozvytku integrovanogo upravlinnya kordonamy v Ukraini." Mizhnar. nauk.-texn. konf. "Perspektyvy rozvytku ozbroynyya ta vijskovoyi tekhniki Suxoputnyx vijsk". Lviv: tezy dop., 2014. 4-16 May 2014. 139. Print. 2. "Pro Koncepciyu rozvytku Derzhavnoyi pry kordonnoyi sluzhby Ukrainy` na period do 2015". Ukaz Prezydenta Ukrainy`. Ky`yiv: ADPSU, 2006. No. 546/2006. 19 June 2006. Print. 3. Kupriyenko, D.A., V.V. Levkov and V.A. Sobchenko. "Perspektyvy vprovadzheniya alternatyvnyx dzherel elektroenergiyi u konteksti zabezpecheniya prykordonnoyi bezpeky Ukrainy." Zbirn. nauk. pr. Nacz. akademiya Derzhprykordonsluzhby Ukrainy. Ser.: vijskovi ta tekhnichni nauky. Xmelnyczkyj: No. 57. 2012. 116-121. Print. 4. "Vitroenergetychni systemy maloyi potuzhnosti". Zelena energetyka. No. 1 (13). 2004. P. 14-16. Print. 5. Korobko, B.P., O.S. Glushhenko and V.I. Shevchuk. "Sonce i viter dlya silskogo dvoru i dachnogo kotedzhu". Rynok instalacij. No. 2. 32. Print. 6. Ankudinov, G. I. "Sintez struktury slozhnyx ob'ektov. Logiko-kombinatornyj podhod". Leningrad: Izdatel'stvo Leningradskogo universiteta. 1986. 260. Print. 7. Borovyk, O.V. and D.A. Kupriyenko. "Metody`ka syntezy systemy` tekhnichnogo kontrolyu derzhavnogo kordonu v umovax odnorodnosti parametriv seredovy`shha funkcionuvannya." Zbirn. nauk. pr. "Trudy` akademiyi". Ky`yiv: NAOU, 2007. No. 7 (80). 2007. P. 186-194. Print. 8. Cvirkun, A.D., and V.K. Akinfiyev. "Struktura mnogourovnevnyx krupnomasshtabnyx sistem. Sintez i planirovanie razvitija". Moskva: Nauka, 1993. 160. Print. 9. Kravchenko, V.F., and V.L. Rvachev. "Algebra logiki, atomanye funkcii i vejlvety v fizicheskikh prilozhenija". Moskva: FIZMATLIT, 2006. 416. Print.

Надійшла (received) 10.04.2014



Левков Володимир Васильович, у 2001 р. закінчив навчання у Національній академії прикордонних військ України ім. Б.Хмельницького (м. Хмельницький) з отриманням диплому спеціаліста (спеціальність "Автомобілі та автомобільне господарство").

У 2011 році вступив до ад'юнктури при Національній академії Держприкордонслужби України з метою написання та захисту дисертації на здобуття вченого звання кандидата технічних наук.

Наукові інтереси пов'язані із вирішенням завдань щодо підвищення ефективності використання технічних засобів в охороні державного кордону.