

МЕТОДИКА СТРУКТУРНОГО СИНТЕЗУ ПІДСИСТЕМ ПЕРВИННИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГІЇ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ОХОРОНИ КОРДОНУ

¹Національна академія Державної прикордонної служби України ім. Б. Хмельницького, Хмельницький

Запропоновано методику визначення оптимальної структури підсистем первинних перетворювачів систем електрозабезпечення технічних засобів охорони кордону на основі відновлюваних джерел енергії. Обґрунтовано, що кількісний та якісний склад первинних перетворювачів може бути визначений за допомогою градієнтного методу числової оптимізації задач нелінійного програмування. Обґрунтування базується на використанні методів математичного моделювання. Опрацьована в роботі математична модель і методика структурного синтезу підсистем первинних перетворювачів відновлюваної енергії дозволяють зробити висновок про можливість безперебійного електроживлення технічних засобів охорони кордону за рахунок використання енергії відновлюваних джерел.

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

Вступ

Загрози в енергетичній сфері, окреслені у джерелах [1—4], вказують на недостатньо інтенсивне впровадження в Україні заходів щодо забезпечення визначеного рівня незалежності та ефективності функціонування паливно-енергетичного комплексу (ПАЕК) України.

Одним із основних шляхів диверсифікації розвитку ПАЕК визначено використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), що закріплено в джерелах [5, 6]. На доцільність реалізації цього шляху вказує тенденція зниження вартості енергії з ВДЕ відносно постійного дорожчання енергоносіїв органічного походження, а також екологічність способу отримання енергії з ВДЕ.

Перспективи використання ВДЕ в інтересах охорони державного кордону України розглянуто в статті [7]. У цій роботі визначено доцільність створення систем електрозабезпечення (СЕЗ) стаціонарно розміщених технічних засобів охорони кордону (ТЗОК) на основі використання ВДЕ як у поєднанні з живленням від центральної промислової мережі (ЦПМ), так і при повній децентралізації електропостачання. Однак поза увагою авторів цієї праці залишилися питання обґрунтування якісного та кількісного складу подібних систем. Компонентний склад СЕЗ можна оцінити з рис. 1.



Рис. 1. Структурна схема локальної систем електрозабезпечення на основі відновлюваних джерел енергії

Завдання визначення раціональної структури СЕЗ ТЗОК на основі ВДЕ вбачається за доцільне вирішувати в межах двох підзадач: структурного синтезу підсистеми первинних перетворювачів енергії відновлюваних джерел (ПП) і структурного синтезу підсистеми утиліт (ПУ).

Аналіз робіт [8—13] проведений авторами, а також необхідність оцінки багатьох параметрів,

врахування низки умов, обмежень та специфіки організації використання ТЗОК на різних ділянках державного кордону в різні часові періоди, вказують на доцільність розв'язання задачі застосування методів математичного моделювання та теорії оптимізації.

Отже, метою роботи є обґрунтування методики структурного синтезу підсистем первинних перетворювачів СЕЗ ТЗОК, яка повинна враховувати множину умов, вимог і обмежень, визначати оптимальне проектне рішення щодо структури ПП у відповідності до конкретних умов та завчасно визначених споживачів, а також допускати можливість поєднання різних за видами та марками ПП і забезпечувати можливість інтегрального управління їх функціонуванням.

Результати дослідження

Авторами висувається гіпотеза про можливість безперебійного електроживлення ТЗОК за рахунок використання енергії відновлюваних джерел.

Для її перевірки вбачається за доцільне: провести змістовний опис організації електрозабезпечення ТЗОК на основі використання ВДЕ шляхом побудови структурно-логічних схем СЕЗ; обґрунтувати математичну модель генерації раціональних структур підсистем ПП систем електрозабезпечення ТЗОК; протестувати модель на конкретних прикладах.

Організація електрозабезпечення ТЗОК на основі використання ВДЕ має передбачати можливість отримання та перетворення енергії з різних за видами джерел (у відповідності до конкретних фізико-географічних умов), в тому числі і від центральної промислової мережі (ЦПМ) чи автономних електростанцій (АвЕС) на органічному паливі, а також реалізацію низки умов і обмежень, зокрема, щодо кількості отриманої енергії та площі для розміщення обладнання.

Забезпечення електроенергією стаціонарно розміщених ТЗОК для їх безперервного функціонування може здійснюватись різними способами, як існуючими (рис. 2а, б), так і перспективними (рис. 2в, г, д). При цьому безперебійність електрозабезпечення досягається використанням у складі СЕЗ таких джерел, як: ЦПМ, АвЕС, підсистема первинних перетворювачів потенціалу ВДЕ з підсистемою утиліт (ПП+ПУ), пристрій акумуляції енергії (ПАЕ). Перехід від одного до іншого джерела електрозабезпечення в умовах динамічної зміни зовнішніх та внутрішніх зв'язків системи може здійснюватись за рішенням оператора чи пристрою автоматики.

Множина таких зв'язків та умов дозволяє висунути припущення, що СЕЗ з комбінованим використанням різних джерел може бути багатоцільовою за природою свого функціонування, а оптимізація зв'язків повинна здійснюватись із застосуванням математичних методів, що будуть враховувати специфіку визначених завдань.

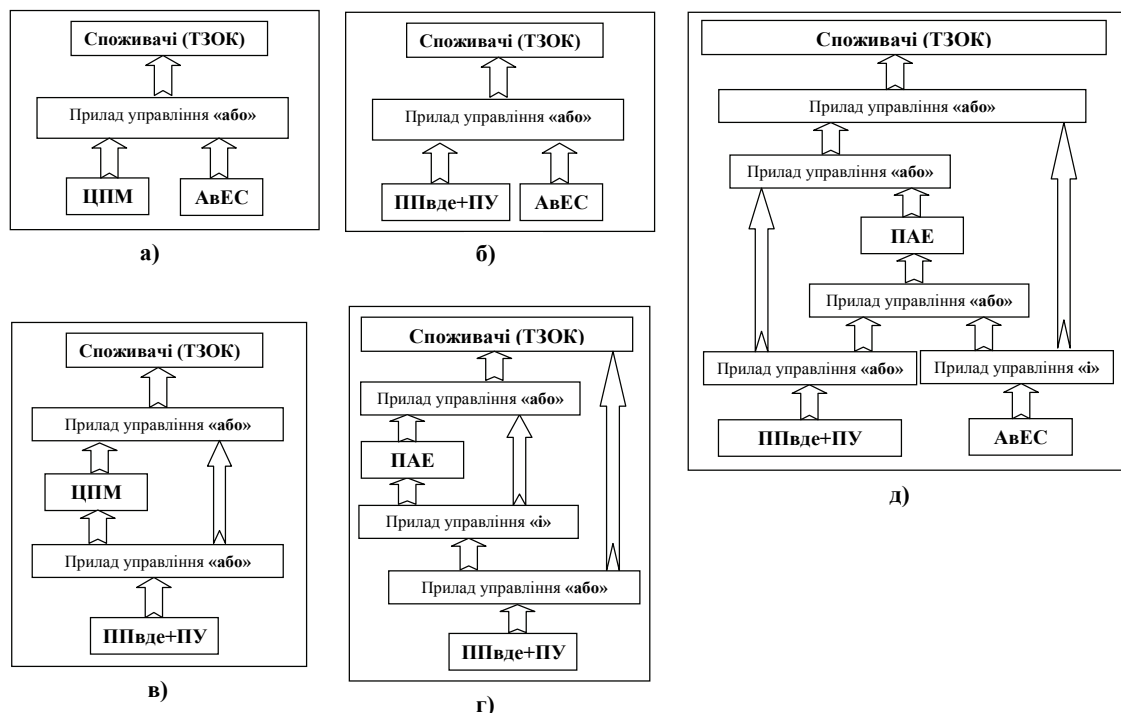


Рис. 2. Структурно-логічні схеми систем електрозабезпечення технічних засобів охорони кордону

Найскладніше реалізувати у випадках проектування децентралізованих систем електрозабезпечення ТЗОК (рис. 2б, г, д). Проте саме такі локальні СЕЗ потенційно спроможні забезпечити доцільне в економічному та екологічному відношеннях електроживлення віддалених споживачів. Тому в методиці структурного синтезу ПП розглядатиметься децентралізований варіант СЕЗ ТЗОК.

Динаміка зміни потенціалу кожного виду відновлюваних джерел енергії може бути оцінена з атласу ВДЕ України [14] та з інформації інтерактивної системи [15]. Фактичне коливання потенціалу ВДЕ та графік споживання електроенергії (далі — енергії) впродовж всього часу експлуатації ТЗОК характеризуються циклічним повторенням. Дискретизацію часу пропонується здійснювати з певними діапазонами, тобто індексацією: $\tau = \overline{1, T}$. Тоді впродовж однієї доби за умови прийняття діапазону рівним 4 год. нумерація індексів буде такою: $\tau = 1, 2, \dots, 6$.

У залежності від умов середовища функціонування ПП характеризуються сумарною енергією $E_{\text{ПП}}^{\tau}$ (Вт·год), що може генеруватись з потенціалу ВДЕ впродовж часу τ . Ця енергія потрапляє до споживачів (ТЗОК), задовольняючи їх потребу впродовж часу τ ($E_{\text{ТЗОК}}^{\tau}$, Вт·год) безпосередньо через ПУ, до складу якої входить пристрій акумуляції енергії (ПАЕ). Ємність ПАЕ ($E_{\text{ПАЕ}}^{\tau}$, Вт·год) впродовж кожного діапазону τ може коливатись від мінімального ($E_{\text{ПАЕ}}^{\min}$, Вт·год) до максимального ($E_{\text{ПАЕ}}^{\max}$, Вт·год) значень, що визначається фізичними властивостями.

Для забезпечення електроенергією споживачів впродовж діапазонів τ може виникнути необхідність комплексного використання ПП (виду $w = 1, 2, \dots, W$ та марки $v = 1, 2, \dots, V_w$) у кількості $x_{w,v}^{\tau}$.

Структура проектованої підсистеми ПП характеризується такими показниками: $\rho_{w,v}^{\tau}$ — кількість енергії, що може бути генерована ПП v -ї марки w -го виду впродовж часового діапазону τ , Вт·год; $S_{w,v}^{\tau}$ — площа, яка потрібна для встановлення одного ПП v -ї марки w -го виду, м²; $B_{w,v}^{\text{ЗБСУ}}$ — разові сумарні затрати на закупівлю, встановлення, списання та утилізацію одного ПП v -ї марки w -го виду, у. од.; $B_{w,v}^{\tau}$ — приведені до періоду τ сумарні експлуатаційні затрати (на технічне обслуговування і ремонт, утримання фахового персоналу тощо) одного ПП v -ї марки w -го виду, у. од.; $x_{w,v}^{\tau}$ — кількість ПП v -ї марки w -го виду, які можуть бути використані для забезпечення потреби ТЗОК енергією у період τ , од.

За головний критерій ефективності підсистеми ПП вбачається доцільним прийняти ознаку мінімізації затрат. З урахуванням змістовного опису задачі та особливостей, що стосуються організації електрозабезпечення ТЗОК на основі ВДЕ, цільову функцію математичної моделі генерації раціональних структур підсистем ПП систем електрозабезпечення ТЗОК можна подати у вигляді:

$$F(X) = \sum_{w=1}^W \sum_{v=1}^{V_w} \sum_{\tau=1}^T B_{w,v}^{\tau} \cdot x_{w,v}^{\tau} + \sum_{w=1}^W \sum_{v=1}^{V_w} B_{w,v}^{\text{ЗБСУ}} \cdot \max \{x_{w,v}^1, \dots, x_{w,v}^T\} \rightarrow \min. \quad (1)$$

А обмеження математичної моделі можуть бути такими:

1. Щодо тактико-технічних вимог. Для безперебійного електроживлення ТЗОК повинні виконуватись умови збалансованості енергії:

$$\begin{cases} E_{\text{ПАЕ}}^{\tau} + \sum_{w=1}^W \sum_{v=1}^{V_w} \rho_{w,v}^{\tau} \cdot x_{w,v}^{\tau} \leq E_{\text{ПАЕ}}^{\max} + E_{\text{ТЗОК}}^{\tau}; \\ E_{\text{ПАЕ}}^{\tau} + \sum_{w=1}^W \sum_{v=1}^{V_w} \rho_{w,v}^{\tau} \cdot x_{w,v}^{\tau} \geq E_{\text{ПАЕ}}^{\min} + E_{\text{ТЗОК}}^{\tau}, \end{cases} \quad (2)$$

де $E_{\text{ПАЕ}}^{\tau} = E_{\text{ПАЕ}}^{\tau-1} + \sum_{w=1}^W \sum_{v=1}^{V_w} \rho_{w,v}^{\tau} \cdot x_{w,v}^{\tau} - E_{\text{ТЗОК}}^{\tau-1}$, ($\tau = \overline{1, T}$).

Перше обмеження визначає, що кількість енергії, яка може надаватися споживачам впродовж часового діапазону τ за рахунок використання енергії ПАЕ $E_{\text{ПАЕ}}^{\tau}$ та згенерованої первинними перетворювачами у кількості $\sum_{w=1}^W \sum_{v=1}^{V_w} \rho_{w,v}^{\tau} \cdot x_{w,v}^{\tau}$, не має перевищувати кількості енергії, яка необхідна для повної зарядки ПАЕ $E_{\text{ПАЕ}}^{\max}$ та для використання споживачами $E_{\text{ТЗОК}}^{\tau}$.

Друге обмеження визначає, що кількість енергії, яка може надаватися споживачам за рахунок використання енергії ПАЕ $E_{\text{ПАЕ}}^{\tau}$ та згенерованої первинними перетворювачами у кількості $\sum_{w=1}^W \sum_{v=1}^{V_w} \rho_{W,V}^{\tau} \cdot x_{W,V}^{\tau}$, не повинна бути меншою кількості енергії, необхідної для забезпечення мінімального енергетичного рівня ПАЕ $E_{\text{ПАЕ}}^{\min}$ та для використання споживачами $E_{\text{ТЗОК}}^{\tau}$.

Величина енергії $E_{\text{ПАЕ}}^{\tau}$, яка впродовж часового діапазону τ може бути передана споживачам від ПАЕ, знаходиться як сума величини енергії $E_{\text{ПАЕ}}^{\tau-1}$, яка може бути передана споживачам від ПАЕ впродовж діапазону $\tau-1$, та величини енергії $\sum_{w=1}^W \sum_{v=1}^{V_w} \rho_{W,V}^{\tau} \cdot x_{W,V}^{\tau}$, згенерованої первинними перетворювачами впродовж часового діапазону τ , за виключенням тієї величини енергії $E_{\text{ТЗОК}}^{\tau-1}$, яка отримана всіма споживачами впродовж часового діапазону $\tau-1$.

2. Щодо конструктивно-технічних вимог:

а) стосовно обсягів енергії, яку може «отримувати» або «віддавати» ПАЕ впродовж часового діапазону τ

$$\begin{cases} \sum_{w=1}^W \sum_{v=1}^{V_w} \rho_{W,V}^{\tau} \cdot x_{W,V}^{\tau} - E_{\text{ТЗОК}}^{\tau} \leq E_{\text{max}}^{\text{зар.}}; \\ E_{\text{ТЗОК}}^{\tau} - \sum_{w=1}^W \sum_{v=1}^{V_w} \rho_{W,V}^{\tau} \cdot x_{W,V}^{\tau} \leq E_{\text{max}}^{\text{розр.}} \end{cases} \quad (3)$$

ПАЕ характеризується деякими обумовленими фізичними властивостями значеннями $E_{\text{max}}^{\text{зар.}}$ і $E_{\text{max}}^{\text{розр.}}$, що кількісно вказують на максимально можливе збільшення та, відповідно, зменшення його ємності впродовж діапазону τ . Отже, згідно з першим обмеженням, кількість енергії, яка надходить для заряду ПАЕ, являє собою різницю енергії генерованої первинними перетворювачами $\sum_{w=1}^W \sum_{v=1}^{V_w} \rho_{W,V}^{\tau} \cdot x_{W,V}^{\tau}$ та енергії потреб ТЗОК $E_{\text{ТЗОК}}^{\tau}$, та не повинна перевищувати значення $E_{\text{max}}^{\text{зар.}}$. Відповідно до другого обмеження, енергія розряду ПАЕ впродовж часового діапазону τ визначається як різниця енергії потреб ТЗОК $E_{\text{ТЗОК}}^{\tau}$ і енергії генерованої первинними перетворювачами $\sum_{w=1}^W \sum_{v=1}^{V_w} \rho_{W,V}^{\tau} \cdot x_{W,V}^{\tau}$ та не повинна перевищувати значення $E_{\text{max}}^{\text{розр.}}$.

б) стосовно площі розташування первинних перетворювачів:

Кожному виду ПП відповідає певна площа S_w , на якій можливе їх розташування. Отже, рішення щодо складу структури підсистеми ПП має враховувати площинні обмеження. Площа розміщення первинних перетворювачів виду w є величиною $\sum_{v=1}^{V_w} \max \{x_{w,v}^1 \cdot S_{w,v}^1, \dots, x_{w,v}^T \cdot S_{w,v}^T\}$. Отже, вказане обмеження матиме такий вигляд:

$$\sum_{v=1}^{V_w} \max \{x_{w,v}^1 \cdot S_{w,v}^1, \dots, x_{w,v}^T \cdot S_{w,v}^T\} \leq S_w, \quad (w = \overline{1, W}). \quad (4)$$

3. Щодо додаткових вимог: $x_{w,v}^{\tau} \geq 0$, $x_{w,v}^{\tau} \in Z$, ($w = \overline{1, W}$, $v = \overline{1, V_w}$, $\tau = \overline{1, T}$). Цим обмеженням визначено забезпечення невід'ємності та цілочислових розв'язків задачі.

Для перевірки гіпотези про можливість безперебійного електроживлення ТЗОК за рахунок використання енергії з відновлюваних джерел вбачається за доцільне протестувати математичну модель генерації раціональних структур підсистем ПП систем електрозабезпечення ТЗОК на конкретному прикладі. Тестування проведемо за допомогою засобу аналізу даних *Solver (пошук рішення) MS «Excel»*.

Для зручності значення показників, що характеризують первинні перетворювачі ВДЕ, характеристики ПАЕ та набори значень показників функціональних обмежень сформовано у масиви електронної таблиці MS «Excel» (рис. 3, 4).

1	2	3	4	5	6	7	8		
Дані щодо р, Вт год									
Часові діапазони, τ									
Види енергії	ППевде	1	2	3	4	5	6		
1 (сонячна)	1.1	0	200	3 000	5 000	2 500	200		
	1.2	0	100	1 500	2 800	1 200	100		
	1.3	0	250	5 000	8 000	2 600	300		
2 (вітрова)	2.1	4 000	3 600	2 500	2 000	2 600	2 800		
	2.2	2 200	1 900	1 400	1 200	1 500	1 700		
	2.3	3 000	2 200	1 300	1 100	1 200	2 000		
	2.4	4 800	3 900	2 900	2 500	3 200	3 500		
3 (гідро)	3.1	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000		
	3.2	9 000	9 000	9 000	9 000	9 000	9 000		
	3.3	12 000	12 000	12 000	12 000	12 000	12 000		
Дані щодо S, кв м									
Часові діапазони, τ									
Види енергії	ППевде	1	2	3	4	5	6		
1 (сонячна)	1.1	8	8	8	8	8	8		
	1.2	6	6	6	6	6	6		
	1.3	20	20	20	20	20	20		
2 (вітрова)	2.1	60	60	60	60	60	60		
	2.2	40	40	40	40	40	40		
	2.3	30	30	30	30	30	30		
	2.4	80	80	80	80	80	80		
3 (гідро)	3.1	180	180	180	180	180	180		
	3.2	210	210	210	210	210	210		
	3.3	280	280	280	280	280	280		
Дані щодо В, у од									
Часові діапазони, τ									
Види енергії	ППевде	1	2	3	4	5	6	В_квсу	В_тоір
1 (сонячна)	1.1	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	1600.00	11.00
	1.2	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	1280.00	15.00
	1.3	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	3100.00	13.00
2 (вітрова)	2.1	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	5200.00	17.00
	2.2	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	4300.00	15.00
	2.3	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	5400.00	14.00
	2.4	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	7400.00	12.00
3 (гідро)	3.1	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	12200.00	23.00
	3.2	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	22600.00	25.00
	3.3	29.00	29.00	29.00	29.00	29.00	29.00	29400.00	29.00

Рис. 3. Показники, що характеризують первинні перетворювачі ВДЕ

1	2	3	4	5	6	7	8		
Дані щодо потреб в електроенергії для ТЗОК (Етзок), Вт год									
Часові діапазони, τ									
Потреби в електроенергії		1	2	3	4	5	6		
		19000	14000	8000	7000	9000	14000		
Дані щодо характеристик ПАЕ, Вт год									
Часові діапазони, τ									
Межі ємності ПАЕ:	Еmax ПАЕ :	20000	20000	20000	20000	20000	20000		
	Еmin ПАЕ :	5000	5000	5000	5000	5000	5000		
Макс. кількість енергії заряду ПАЕ		5000	5000	5000	5000	5000	5000		
Макс. кількість енергії розряду ПАЕ		-15000	-15000	-15000	-15000	-15000	-15000		
Функціональні обмеження									
на кількість виробленої енергії									
Часові діапазони, τ									
		1	2	3	4	5	6		
		13800	12900	5900	11500	9000	9000		
Результуючі дані щодо площі (S) ППевде									
Часові діапазони, τ									
Ппевде за видами	Ліміти площі	1	2	3	4	5	6	Макс.знач. S	
1 фотоелектричні модулі	100								
2 вітрогенератори	200								
3 гідроенератори	400								

Рис. 4. Характеристики ПАЕ та набори значень показників функціональних обмежень

Застосування градієнтного методу числової оптимізації задач нелінійного програмування («метод ОПГ») для початкових даних досліджуваного прикладу дозволило отримати шукану структуру ПП, яка є масивом максимальних значень розв'язків кожної марки всіх видів (рис. 5). При цьому кількісно згенеровані загальні витрати на отриману структуру включають як одноразові, так і експлуатаційні витрати.

Отримана для цього прикладу раціональна структура містить ПП з індексами видів та марок «1.1», «2.4», «3.2». Крім цього, розв'язок вказує також на недоцільність використання ПП впродовж певних часових діапазонів. Останнє може дозволити планувати заходи з технічного обслуговування і ремонту відповідних марок видів ПП.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
52	Дані щодо розв'язків X, од												
53									Структура:	\sum знач.Х(t)	\sum знач.В_тоір	ЗАГ.витрати	
54	Види енергії	ППеде	Часові діапазони, τ						ППеде	марки виду	марки виду	на структуру	
55	1 (сонячна)	1.1	0	0	1	0	0	0	1	1	11.00	31784,00	
56		1.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00		
57		1.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00		
58	2 (вітрова)	2.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00		
59		2.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00		
60		2.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00		
61	3 (гідро)	2.4	1	1	1	1	0	0	1	4	48.00		
62		3.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00		
63		3.2	1	1	0	1	1	1	1	5	125.00		
64		3.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00		

Рис. 5. Масив рішень з шуканою структурою підсистеми первинних перетворювачів

Динамічне використання ПП може бути забезпечене застосуванням блоку інтегрального управління СЕЗ ТЗОК. Саме використання цього пристрою у складі СЕЗ може забезпечити умови мінімізації експлуатаційних затрат та достатності забезпечення ТЗОК електроенергією.

Висновки

Отже, в результаті дослідження проведено змістовний опис організації електрозабезпечення технічних засобів охорони кордону на основі використання потенціалу відновлюваних джерел енергії та обґрунтовано математичну модель генерації раціональних структур підсистем первинних перетворювачів систем електрозабезпечення. Тестування математичної моделі на конкретному прикладі дозволяє зробити висновок про справедливості гіпотези щодо можливості безперебійного електроживлення технічних засобів охорони кордону за рахунок використання енергії з відновлюваних джерел.

Напрямами подальшого дослідження вбачається опрацювання питань щодо використання в складі систем електрозабезпечення технічних засобів охорони кордону блоку інтегрального управління та розробка методики структурного синтезу підсистеми утиліт СЕЗ ТЗОК на основі ВДЕ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Рішення «Про стан виконання рішень Ради національної безпеки і оборони України з питань енергетичної безпеки»: указ Президента України від 02.02.2007 № 678/2007. [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://zakon1.rada.gov.ua/>.
2. Енергетична стратегія України на період до 2030 року : розпорядження Кабінету Міністрів України від 15.03.2006 № 145-р. [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://zakon1.rada.gov.ua/signal/kr06145a.doc>.
3. Державна програма активізації розвитку економіки на 2013—2014 роки : постанова Кабінету Міністрів України від 27.02.2013 № 187. [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/187-2013%D0%BF/paran208#n208>.
4. «Енергетична безпека України 2020: виклики, можливості, сценарії»: дослідження українського Інституту публічної політики. [Електронний ресурс]. — Режим доступу : http://uipp.org.ua/uploads/news_message/at_file_uk/0070/40.pdf.
5. Про альтернативні джерела енергії : Закон України від 20.02.03 № 555-IV. [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/555-15>.
6. Державна цільова економічна програма енергоефективності і розвитку сфери виробництва енергоносіїв з відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива на 2010—2015 роки : постанова Кабінету Міністрів України від 01.03.2010 №243. [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/243-2010-n#n13>.
7. 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 ім. Б. Хмельницького ; [редкол. : Б. М. Олексієнко (гол. ред.), І. С. Катеринчук та ін.]; — Хмельницький, 2012. — Вип. 57. — С. 116—121.
8. Анкудинов Г. И. Синтез структуры сложных объектов. Логико-комбинаторный подход / Г. И. Анкудинов. — Ленинград : изд-во Ленинградского университета, 1986. — 260 с.
9. Божко А. Н. Структурный синтез на элементах с ограниченной сочетаемостью / А. Н. Божко, А. Ч. Толпаров // Электронное научно-техническое издание : Наука и Образование / Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана ; [редкол. : И. Б. Фёдоров (гол. ред.), Ю. Н. Павлов и др.]. — Москва, 2004. — № 5. — ISSN 1994-0408.
10. Боровик О. В. Методика синтезу системи технічного контролю державного кордону в умовах однорідності параметрів середовища функціонування / О. В. Боровик, Д. А. Купрієнко // Труды академії : зб. наук. пр. / за ред. І. С. Руснака. — К. : НАОУ, 2007. — № 7 (80). — С. 186—194.
11. Графов Р. П. Системологический синтез cloud-систем / Р. П. Графов, Д. Н. Медзатый, А. Г. Малай // Вісник ХНУ. — 2011. — Вип. 3. — С. 276—283.
12. Цвиркун А. Д. Структура многоуровневых крупномасштабных систем. Синтез и планирование развития / А. Д. Цвиркун, В. К. Акинфиев. — М. : Наука, 1993. — 160 с.

13. Черняк Ю. И. Анализ и синтез систем в экономике / Ю. И. Черняк. — М. : Экономика, 1970. — 151 с.
14. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії України : Національна академія наук України, Інститут електродинаміки, Державний комітет України з енергозбереження [Електронний ресурс]. — Режим доступу : http://www.intelcenter.com.ua/rus/library/atlas_alten_UA.htm.
15. Інтерактивний глобальний атлас відновлюваних, альтернативних джерел енергії [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://irena.masdar.ac.ae>.

Рекомендована кафедрою електричних станцій та систем ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 18.03.2014

Боровик Олег Васильович — д-р техн. наук, професор, начальник кафедри загальнонаукових та інженерних дисциплін, e-mail: bov_nadpsu@mail.ru;

Левков Володимир Васильович — ад'юнкт ад'юнктури, e-mail: Levkov281@gmail.com.

Національна академія Державної прикордонної служби України, Хмельницький

O. V. Borovyk¹
V. V. Levkov¹

Method of structural synthesis of subsystems of primary transformers renewable energy power supply of technical means of border protection

¹Bohdan Khmelnytskyi National Academy of State Border Service of Ukraine, Khmelnytskyi

A method for determining the optimal structure of sub-primary converters of electric power technical security boundaries based on renewable energy is suggested in the paper. It has been proved that the quantitative and qualitative composition of primary converters can be determined using the gradient method of numerical optimization of nonlinear programming tasks. Substantiation is based on the use of mathematical modeling. Processed in the mathematical model and method of synthesis of structural subsystems primary converters of renewable energy suggest the possibility of an uninterrupted power supply of means of border protection through the use of renewable energy.

Keywords: system power supply, renewable energy, structural synthesis, primary converters method.

Borovyk Oleg V. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair of General Scientific and Engineering Disciplines, e-mail: bov_nadpsu@mail.ru;

Levkov Volodymyr V. — Post-Graduate Student, e-mail: Levkov281@gmail.com

О. В. Боровик¹
В. В. Левков¹

Методика структурного синтеза подсистем первичных преобразователей возобновляемой энергии систем электрообеспечения технических средств охраны границы

¹Национальная академия Государственной пограничной службы Украины им. Б. Хмельницкого, Хмельницкий

Предложена методика определения оптимальной структуры подсистем первичных преобразователей систем электроснабжения технических средств охраны границы на основе возобновляемых источников энергии. Обосновано, что количественный и качественный состав первичных преобразователей может быть определен с помощью градиентного метода числовой оптимизации задач нелинейного программирования. Обоснование базируется на использовании методов математического моделирования. Разработанная в работе математическая модель и методика структурного синтеза подсистем первичных преобразователей возобновляемой энергии позволяют сделать вывод о возможности бесперебойного электропитания технических средств охраны границы за счет использования энергии возобновляемых источников.

Ключевые слова: система электроснабжения, возобновляемые источники энергии, структурный синтез, первичные преобразователи, методика.

Боровик Олег Васильевич — д-р техн. наук, профессор, начальник кафедры общенаучных и инженерных дисциплин, e-mail: bov_nadpsu@mail.ru;

Левков Владимир Васильевич — адъюнкт адъюнктуры, e-mail: Levkov281@gmail.com