

SECTION XIV. ÉNERGIE ET INGÉNIERIE ÉLECTRIQUE

DOI 10.36074/logos-01.10.2021.v1.29

ASPECTS SYSTÉMIQUES DE LA CONSIDÉRATION DU SYSTÈME D'ALIMENTATION ÉLECTRIQUE UNIE DE L'UKRAINE

ORCID ID: 0000-0003-4940-7856

Viacheslav Okhrimenko

Candidat des sciences techniques, professeur agrégé du département des systèmes d'alimentation et de la consommation électrique urbains
O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv

ORCID ID: 0000-0003-1211-4665

Iryna Shcherbak

Candidat des sciences techniques, maître de conférences du département des systèmes d'alimentation et de la consommation électrique urbains
O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv

UKRAINE

Un exemple typique de méthodes scientifiques modernes est l'application de la méthode d'une approche systémique, qui fournit des résultats efficaces dans diverses tâches de recherche de systèmes techniques complexes : conception de nouveaux systèmes, modernisation et développement de systèmes existants.

Dans [1] les principes de base et les caractéristiques de l'analyse du système sont considérés, le modèle généralisé d'un système technique tel que l'électro-énergétique est proposée.

Le but de ce travail était d'examiner le modèle du système d'alimentation électrique unifié (SAEU) de l'Ukraine, d'examiner ses composants et de clarifier les aspects systémiques de l'étude.

SAEU de l'Ukraine est un ensemble de plusieurs systèmes énergétiques régionaux, unis par un mode de fonctionnement commun, qui a une gestion de répartition commune en tant que niveau de gestion supérieur par rapport aux départements de répartition des systèmes électriques qui font partie de celui-ci. SAEU de l'Ukraine comprend « les centrales électriques, les réseaux électriques et thermiques, les autres installations électriques, qui sont unies par un mode commun de production, de transport et de distribution d'énergie électrique et thermique sous la gestion centralisée de ce mode » [2]. SAÉU de l'Ukraine fournit un approvisionnement centralisé en électricité et en chaleur aux consommateurs nationaux, interagit avec les systèmes énergétiques des pays voisins, assure l'exportation et l'importation d'électricité.

La figure 1 montre un modèle de SAU de l'Ukraine dans sa partie électrique. Les composants liés aux réseaux de chaleur ne sont pas pris en compte dans ce modèle. Le premier niveau de la structure du système peut être représenté par quatre sous-systèmes : A1 – « Production d'électricité » ; A2 – « Transport d'énergie électrique » ; A3 – « Distribution d'énergie électrique » ; A4 – « Consommation d'énergie électrique ».

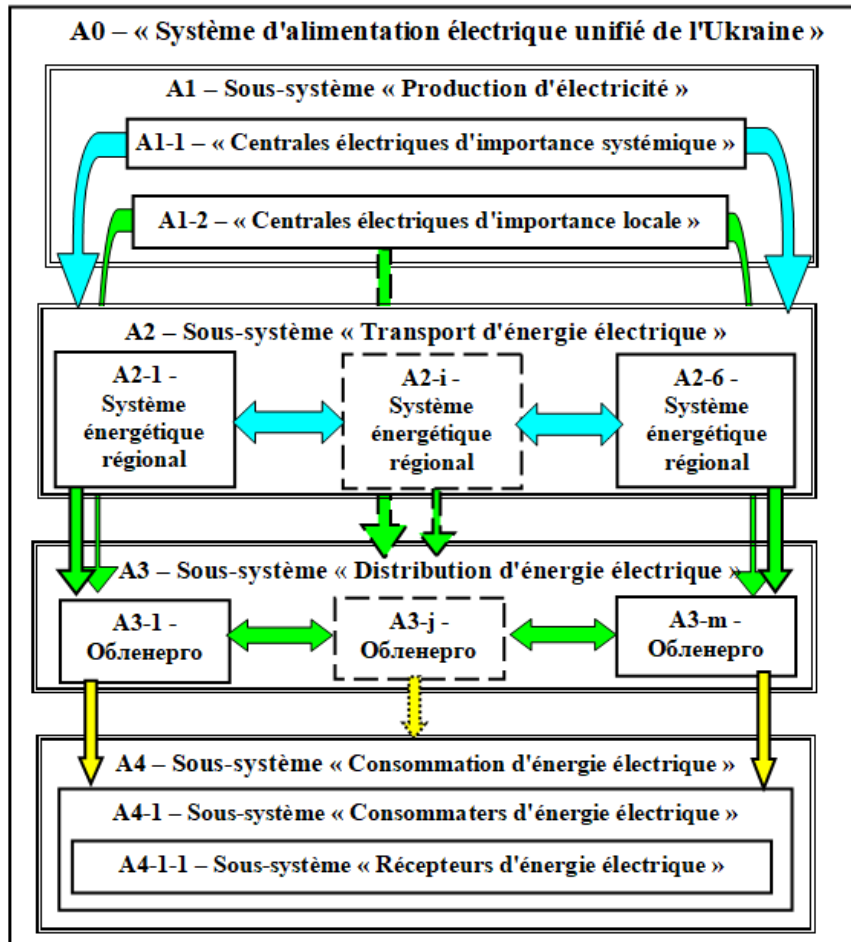


Fig.1. **Modèle du système d'alimentation électrique unifié de l'Ukraine**
(développé par les auteurs)

La prise en compte des composants de ces sous-systèmes dépend de l'objectif de l'étude. La figure 1 montre deux composants A1-1 « Centrales électriques d'importance systémique » et A1-2 « Centrales électriques d'importance locale » du sous-système A1 « Production d'électricité ». Le sous-système A2 « Transport d'énergie électrique » se compose de six systèmes énergétiques régionaux (Fig. 1 sous-système A2-1 – A2-6). Le sous-système A3 « Distribution d'énergie électrique » en Ukraine comprend les sociétés de distribution d'électricité du niveau régional de puissance [1].

Le sous-système A4 « Consommation d'énergie électrique » se compose d'un ensemble de sous-systèmes du deuxième niveau A4-1 « Consommateur d'énergie électrique », qui comprend un autre ensemble de systèmes de troisième niveau A4-1-1 « Récepteur d'énergie électrique ».

Les récepteurs électriques sont le dernier élément du modèle de SAÉU de l'Ukraine. Ils convertissent l'électricité en un autre type d'énergie (chaleur, mouvement, éclairage, etc.), leur mode de fonctionnement détermine le mode de fonctionnement et le diagramme de charge électrique du sous-système A4-1 « Consommateur d'énergie électrique ». Ces derniers déterminent le mode de fonctionnement et le diagramme de charge électrique du sous-système A4 « Consommation d'énergie électrique ». Le modèle du système « Consommateurs d'électricité des villes » est décrit dans [3].

Considérons les composantes de SAÉU de l'Ukraine.

Production d'électricité. Dix-sept plus grandes centrales thermiques (quatorze centrales thermiques (CT) et trois centrales de cogénération (CC), quatre centrales nucléaires (CN) et huit centrales hydroélectriques (CHÉ) et stations de transfert d'énergie par pompage (STÉP) sont des centrales électriques systémiques en Ukraine. Les centrales électriques locales comprennent les petites centrales thermiques, les centrales hydroélectriques et les stations utilisant des sources d'énergie renouvelable (SÉR) – éolienne (CÉ), solaire (CS) et celles qui produisent de l'électricité à partir de la biomasse (CÉB).

La capacité totale installée des centrales électriques de SAÉU en Ukraine est de plus de 54 000 MW. La plus grande part de cette capacité (plus de 51%) revient aux CT et CC appartenant aux sociétés de production, la plus petite (environ 2,5%) – aux centrales éoliennes et aux centrales électriques aux biocarburants. Les données récapitulatives sur la puissance installée des centrales électriques ukrainiennes au début de 2021 sont présentées dans le tableau 1.

Tableau 1

Puissance installée des centrales électriques en Ukraine [4]

Type de centrale électrique	CN	CT	CC	CHÉ	STÉP	CS	CÉ	CÉB	Ensemble
Puissance installée, MW	13835	21842	6070	4813	1488	5154	1110	188	54500
Poids spécifique, %	25,39	40,08	11,14	8,83	2,73	9,46	2,04	0,34	100

La base de la production est l'énergie nucléaire, qui, représentant environ 26 % de la puissance totale installée de toutes les centrales électriques du pays, produit environ la moitié de l'électricité totale. La deuxième position est occupée par le thermique (plus de 51 % de la puissance totale installée ; près de 41 % de la production). La part des centrales hydroélectriques dans la puissance totale installée n'est que de 11,56 % (environ 8 % de la production). La structure de la production d'électricité en Ukraine au début de 2021 est indiquée dans le tableau 2.

Tableau 2

Structure de la production SAÉU pour une consommation énergétique maximale au 26 janvier 2021 [4]

Type de centrale électrique	CN	CT	CC	CHÉ et STÉP	SÉR
Production d'électricité, MW	9,623	6,386	2,118	1,750	0,914
Poids spécifique, %	47,0	31,0	10,0	8,0	4,0

L'énergie nucléaire de l'Ukraine est représentée par 15 unités de puissance d'une capacité de 440 à 1 000 MW avec une puissance installée totale de 13 835 MW. Ils produisent la majeure partie de l'électricité totale. Au total, quatre centrales nucléaires en Ukraine appartiennent à Compagnie Nationale de Production d'énergie Nucléaire (CNPÉN) «Energatom». Ce sont : Centrale nucléaire de Zaporijjia (6 réacteurs nucléaires de 1 000 MW chacun); Centrale nucléaire d'Ukraine du Sud (3 réacteurs de 1 000 MW); Centrale nucléaire de Rivne (2 réacteurs de 400 MW et 2 réacteurs de 1 000 MW); Centrale nucléaire de Khmel'nitski (2 réacteurs de 1 000 MW, 2 unités de 1 000 MW en construction).

L'énergie thermique. Les plus grandes centrales thermiques d'Ukraine comprennent 14 centrales thermiques de cinq sociétés de production - Dniproenergo, Donbasenergo, Zahidenergo, Vostokenergo et Centerenergo. Les données récapitulatives sur les centrales thermiques de la valeur du système sont présentées dans le tableau 3.

Tableau 3

Centrales thermiques de valeur du système [5]

Nº	Centrale électrique	Puissance installée, MW	Puissance des turbines, MW
1	Prydniprovskia CT	2400	4x150, 3x285, 1x300
2	CT de Kryvyi Rih	2820	10x282
3	CT de Zaporojie	3600	4x300+3x800
4	CT de Starobeshivska	2275	3x100, 1x215, 1x200, 8x195
5	CT de Sloviansk	880	1x720, 2x80
6	CE de Vuhlehirska	2400	4x183, 8x195
7	Dobrotvirska CT	600	3x100+2x150
8	CT de Ladyzhyn	1800	6x300
9	CT de Trypillia	1800	6x300
10	CT de Zmiiv	2175	6x175+3x275+1x300
11	Vuglegirska CT	3600	4x300+3x800
12	CC-5 de Kyiv	700	2x100, 2x250
13	CC-6 de Kyiv	500	2x250
14	CC-5 de Kharkiv	540	2x120, 1x300

Île énergétique de la centrale thermique de Burshtyn a été créé en 1995-2002 sur la base de la plus grande centrale électrique de la région occidentale CT de Burshtyn afin d'organiser l'exportation d'électricité vers les pays européens. Il couvre le territoire de la Transcarpatie, des parties des régions de Lviv et d'Ivano-Frankivsk avec une superficie totale de 27 000 km². Outre Burshtynska (capacité installée de 2 400 MW), la centrale de cogénération de Kalush (200 MW) et la centrale de Tereblya-Rikskaya (30 MW) fonctionnent également sur l'île. L'île est reliée par des lignes de transport inter-États avec la Hongrie (une ligne de transport de 750 kV, une ligne - 400 kV, deux lignes - 220 kV chacune), avec la Slovaquie (une ligne de transport de 400 kV) et avec la Roumanie (une ligne de transport de 400 kV).

Hydro Génération. Au début de 2021 en Ukraine il y avait 10 centrales hydroélectriques d'une puissance supérieure à 10 MW, 4 stations de transfert d'énergie par pompage et environ 50 centrales hydroélectriques d'une puissance allant jusqu'à 10 MW.

La plus grande entreprise d'hydrogénération d'Ukraine «Ukrhydroenergo» [6] comprend dix centrales électriques sur les fleuves Dniepr et Dniestr : CHÉ de Kyiv, STÉP de Kyiv, CHÉ de Kaniv, CHÉ de Kremenchug, CHÉ de Middle Dnieper, CHÉ-1 de Dnieper et CHÉ-2 de Dnieper, CHÉ de Kakhovka, CHÉ de Dniestr, STÉP de Dniestr, STÉP de Kaniv et STÉP de Kakhovka sont en cours de préparation pour la construction.

Début 2021, le nombre total d'unités hydrauliques dans les stations d'Ukrhydroenergo était de 103 et leur capacité totale installée atteignait 5 849 MW

[6]. La société fournit une couverture des charges de pointe, une régulation de fréquence et de puissance, une réserve d'urgence mobile dans le système d'alimentation électrique unifié de l'Ukraine.

Les données récapitulatives sur les CHÉ et les STÉP sont présentées dans les tableaux 4.

Tableau 4

Principaux indicateurs des centrales hydroélectriques d'Ukraine [7]

Centrale électrique	Puissance installée, MW	Nombre et puissance des unités hydrauliques, nombre×MW	Production annuelle moyenne, millions de kWh
CHÉ de Kyiv	408,5	11 x 22; 9 x 18,5	683
STÉP de Kyiv	235,5	3 x 37; 3 x 41,5	190
CHÉ de Kaniv	444	24 x 18,5	823
CHÉ de Kremenchug	625	12 x 57,2	1 506
CHÉ de Middle Dnieper	356,4	7 x 44; 1 x 48,4	1 250
CHÉ de Dnieper	1 538,2	9 x 72; 1 x 2,6; 2 x 104,5; 6 x 113,1	4 140
CHÉ de Kakhovka	335	6 x 58,5	1 420
STÉP de Kakhovka (en préparation pour la construction)	250	-	-
Tashlyk	302	2 x 151	-
CHÉ de Dniestr	702	6 x 117	865
STÉP de Dniestr	2 268 (projet)	4 x 324, (3 x 324 en préparation pour la construction)	1 201

Société nationale de l'énergie « UkrEnergo ». Les fonctions de gestion de dispatching (opérationnel et technologique) de SAÉU d'Ukraine sont assurées par la Société nationale de l'énergie (SNÉ) « UkrEnergo » [4]. En tant que gestionnaire de réseau de transport, la société assure le transport (transmission) d'électricité à travers les réseaux principaux et interétatiques avec une tension de 220 à 750 kV de la production aux réseaux des gestionnaires de réseau de distribution (sociétés énergétiques régionales), l'exploitation parallèle du système électrique ukrainien avec les systèmes électriques des pays voisins. SNÉ « UkrEnergo » exerce également les fonctions d'administrateur de la comptabilité commerciale et d'administrateur des règlements sur le marché de l'électricité de l'Ukraine.

En 2021, SNÉ « UkrEnergo » comprend six systèmes énergétiques régionaux (SÉR): Dniprovska, Zakhidna, Pivdena, Pivdenno-Zakhidna, Pivnichna, Tsentralna. SNÉ « UkrEnergo » est un système de nœuds multicircuits fermés formant une tension de réseau de 220, 330, 400, 500, 750 kV. Les hubs sont 103 sous-stations 220-750 kV et plus de 19 000 km de lignes de transport principales et interétatiques.

Les compagnies régionales d'électricité distribuent l'énergie électrique sur le territoire des régions ukrainiennes. Ils reçoivent de l'électricité des sous-stations des principaux réseaux électriques des entreprises régionales d'énergie, sur le territoire desquelles ils sont situés, à une tension de 220, 330, 500, 750 kV.

Plus de 890 000 km de lignes aériennes et de transmission par câble d'une tension de 0,4 à 150 kV et plus de 200 000 postes de transformation d'une tension de 0,4 à 110 kV sont exploités par des entreprises régionales. À titre d'exemple, le tableau 5 montre les caractéristiques générales des réseaux électriques de Kharkivoblénergo. La superficie totale d'alimentation électrique de l'entreprise (territoire de la région de Kharkiv) est de 31 400 km².

Tableau 5

Caractéristiques générales des réseaux électriques de Kharkivoblénergo [8]

Longueur totale des lignes électriques aériennes (le long du tracé)	39 648 km
Longueur totale des lignes de transmission par câble	7 320 km
Nombre de sous-stations avec une tension de 35-150 kV	288 unités
Nombre de sous-stations avec une tension de 6-10 / 0,4 kV	10 877 unités
Nombre total de transformateurs avec une tension de 3-150 kV	13 443 unités
y compris les classes de tension : 6-10 kV	12 937 unités
35 kV	333 unités
110-150 kV	173 unités
Puissance totale des transformateurs avec une tension de 3-150 kV	8 417,6 MVA
y compris les classes de tension : 6-10 kV	3 280 MVA
35 kV	994,4 MVA
110-150 kV	4 143,3 MVA
Nombre total d'interrupteurs situés sur des objets de réseaux électriques avec une tension de 3-150 kV	7 618 unités

Dispatching de SAÉU de l'Ukraine.

Le système de gestion de l'exploitation et de la répartition (dispatching) dans le secteur de l'électricité comprend un ensemble de mesures pour la gestion centralisée des modes technologiques de fonctionnement des installations électriques et des installations de réception d'énergie des consommateurs au sein du système énergétique unifié et des systèmes électriques territoriaux technologiquement isolés, qui est mis en œuvre par la direction opérationnelle et d'expédition pour la mise en œuvre de ces mesures de la manière prescrite par la législation de l'Ukraine.

Dans le secteur de l'énergie électrique de l'Ukraine, il existe un système de répartition unique et centralisé pour la gestion opérationnelle et technologique de la production, du transport et de la fourniture d'électricité. Les fonctions de gestion de la répartition (opérationnelle et technologique) du SAÉU de l'Ukraine sont assurées par une entreprise d'État, qui est déterminée par l'organe exécutif central qui gère l'industrie de l'énergie électrique. La gestion centralisée de la répartition (opérationnelle et technologique) s'étend aux entités commerciales dont les installations électriques sont connectées au SAÉU de l'Ukraine.

La gestion centralisée du dispatching (opérationnel et technologique) permet :

- la planification et la gestion opérationnelle des centrales électriques ukrainiennes, en tenant compte des modes de chauffage urbain ;
- la planification et le contrôle du respect du mode de fonctionnement du SAÉU de l'Ukraine ;
- la prévention des situations d'urgence et l'élimination de leurs conséquences dans le système énergétique de l'Ukraine en maintenant l'équilibre nécessaire de

puissance et d'énergie, en garantissant un fonctionnement fiable et durable du système énergétique et son travail parallèle avec les systèmes énergétiques d'autres États ;

- le développement et le contrôle de la mise en œuvre de nouveaux systèmes d'automatisation et de protection d'urgence, ainsi que des moyens de communication et de gestion (opérationnelle et technologique) ;

- supervision du fonctionnement des systèmes d'automatisation et de protection de secours.

Conclusion. Les aspects systémiques donnés de l'approche de l'étude du système d'alimentation électrique unifié de l'Ukraine peuvent être utilisés pour familiariser le personnel des entreprises énergétiques et les étudiants des spécialités énergétiques avec un large éventail de problèmes de fonctionnement des systèmes électro-énergétiques.

References:

- [1] Zbitnieva, M., Okhrimenko, V., Nosenko, I. (2021). System Aspects of Scientific Researches in Power Engineering. *Lighting Engineering & Power Engineering*, 60(1), 31–38. <https://lepe.kname.edu.ua/index.php/lepe/article/view/458>.
- [2] Pro elektroenerhetyku : Zakon Ukrainy vid 16.10.1997 r. № 575/97-VR (1998) [On Electricity: Law of Ukraine of October 16, 1997 № 575/97-VR]. *Vidomosti Verkhovnoi rady Ukrainy*, 1. <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/575/97-вр>.
- [3] Okhrimenko, V., Buzskiy, M. (2021). Approche systémique de l'analyse des consommateurs d'électricité urbaine, 1, 118-123. <https://doi.org/10.36074/logos-09.04.2021.v1.40>.
- [4] Official website of Ukrenergo. <https://ua.energy/peredacha-i-dyspetcheryzatsiya/dyspetcherska-informatsiya/robota-oes-ukrayiny-za-tyzhden/>
- [5] Teplovi elektrostantsii Ukrainy [Thermal power plants of Ukraine]. https://uk.wikipedia.org/wiki/Теплові_електростанції_України.
- [6] Official website of Ukrhydroenergo. <https://uhe.gov.ua/>.
- [7] Suchasnyi stan, problemy ta perspektyvy rozvytku hidroelektroenerhetyky Ukrainy (2014) [Current state, problems and prospects of development of hydroelectric power of Ukraine]. Kyiv, 54. <https://niss.gov.ua/sites/default/files/2014-06/GES-993ae.pdf>.
- [8] Official website of Kharkivoblenergo. <https://www.oblenergo.kharkov.ua/company/today>.