

ПОБУДОВА, ОРГАНІЗАЦІЯ ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ РИНКІВ

ISSN 2522-4344 (Online), ISSN 1562-8965 (Print). The problems of general energy, 2021, 3(66): 53–62
doi: <https://doi.org/10.15407/pge2021.03.053>

УДК 621.3:519.8

В.А. ДЕНИСОВ, ORCID: 0000-0002-3297-1114

Л.В. ЧУПРИНА, ORCID: 0000-0002-7707-6615

Інститут загальної енергетики НАН України, вул. Антоновича, 172, м. Київ, 03150, Україна

ТЕХНОЛОГІЧНІ УМОВИ ПАРАЛЕЛЬНОЇ РОБОТИ ОЕС УКРАЇНИ З СУМІЖНИМИ КРАЇНАМИ, ПРИЄДНАНИМИ ДО ENTSO-E

Розглянуто умови паралельної роботи ОЕС України з енергосистемами сусідніх країн, що входять до складу ENTSO-E, зокрема, – структура генеруючих потужностей, характерні графіки електричних навантажень, наявність та потужність міждержавних ліній електропередачі та величина потужності максимально допустимих імпорту та експорту. Наведені дані можуть бути використані як вхідна інформація для моделювання режимів експлуатації генеруючих потужностей окремих енергосистем, що мають забезпечити готовність до об'єднання енергосистеми України з енергосистемою Континентальної Європи ENTSO-E та слугуватимуть основою для моделювання синхронного функціонування ОЕС України при паралельній роботі з енергосистемами суміжних країн.

Ключові слова: енергетична система, ENTSO-E, технологічні умови.

Масштабне реформування відносин у секторі електроенергетики, що відбувається останніми роками в Україні, зумовлене прагненням інтеграції держави до Європейського Союзу, що закріплено на законодавчому рівні, зокрема, Законом України «Про ратифікацію Угоди між Україною та Європейським Союзом» [1, 2]. Одним із важливих кроків на шляху до інтеграції України до ЄС є приєднання Об'єднаної енергосистеми (ОЕС) України до об'єднання операторів системи передачі (ОСП) континентальної Європи (ENTSO-E) для чого, зокрема, у липні 2019 р. в Україні впроваджено нову модель ринку електроенергії, побудовану на сумісних з ЄС принципах, яка наразі функціонує відповідно до положень Закону України «Про ринок електричної енергії України» [3] та підзаконних нормативних актів, зокрема, «Правил ринку» [4], «Правил ринку «на добу наперед» та внутрішньодобового ринку» [5].

Однією із ключових умов приєднання ОЕС України до об'єднання ОСП континентальної Європи є балансова самодостатність національної енергосистеми, що за існуючого рівня встановленої потужності відновлюваних джерел

енергії вимагає додаткового врахування природної стохастичності потужностей генерації вітрових та сонячних електростанцій, імовірного характеру аварійних відмов складових енергосистеми, а також вимагає пошуку додаткових можливостей для забезпечення збалансованості енергосистеми. Ці можливості можуть бути забезпечені за рахунок запровадження нових режимів диспетчеризації агрегатів, що покривають резервування та накопичення електроенергії, а у разі недостатності цих заходів – запровадження додаткових маневрених накопичувальних та резервних електрогенеруючих потужностей [6, 7]. Також додатковим заходом забезпечення стабільної збалансованої роботи ОЕС України є майбутнє об'єднання енергосистеми України з енергосистемою Континентальної Європи ENTSO-E» [8]. У цьому напрямку, 12 вересня 2019 р. Укренерго підписало «Сервісний контракт з Консорціумом системних операторів ENTSO-E для дослідження можливості синхронного об'єднання енергосистеми України з ENTSO-E».

Згідно з «Планом інтеграції ОЕС України в ENTSO-E» Українська енергосистема синхронізується з європейською континентальною мережею паралельно з молдовською. НЕК «Укре-

нерго» підписало Угоду про умови майбутньої синхронізації 28 червня 2017 р. Початок синхронної роботи української енергосистеми з європейською континентальною мережею заплановано на 2023 р. Загальну вартість заходів інтеграції з ENTSO-E оцінено на рівні 11,4 млрд грн, з них 4327 млн грн за рахунок МФО. Очікуваний прямий щорічний економічний ефект після синхронізації за умови вільного міждержавного обміну електроенергією в рамках пропускної спроможності 4 ГВт складе більше 40 млрд грн [8].

У рамках реалізації вказаного плану [8] у червні 2020 р. урядом, Укренерго та Світовим банком прийнято рішення про будівництво вставки постійного струму. На другий квартал 2021 р. заплановано проведення додаткових статичних розрахунків та досліджень умов синхронного приєднання енергосистем континентальної Європи та України / Молдови, а також здійснення необхідних динамічних досліджень системи. На 2022 р. планується тестова робота в ізолюваному режимі ОЕС України та енергетичної системи Республіки Молдови. На перший квартал 2023 р. заплановано початок роботи ОЕС України у синхронному режимі з енергосистемою Континентальної Європи ENTSO-E. При цьому, сервісним контрактом передбачено розробити загальну математичну модель української енергосистеми та ENTSO-E, а також дослідити динамічну та статичну стійкість енергосистеми. Ці дослідження є невід'ємною частиною Угоди про умови майбутньої інтеграції ОЕС України до ENTSO-E.

Зростаюча інтеграція європейських ринків електроенергії є важливим фактором забезпечення безпечного, доступного та стійкого енергопостачання споживачів в Європейському Союзі. Ця інтеграція сприяє розширенню потужностей передачі електроенергії, спрямованої на більш ефективне використання існуючої інфраструктури, завдяки чому енергія зараз вільніше торгується через кордони, що відображається у значних потоках фізичної енергії (Cross-Border Flow) між європейськими країнами, які досягали 435 ТВт·годин загального транскордонного обміну між країнами ENTSO-E у 2018 р. [8], тобто 8,4% сукупного споживання електроенергії в зоні ENTSO-E.

Європейські країни помітно відрізняються за експортом-імпортом електроенергії: найбільші експортери – Німеччина і Франція; експорт перевищує імпорт в Швейцарії і Чехії, в Норвегії та Швеції; найбільший імпортер – Італія, яка залежить від поставок електроенергії не тільки з боку безпосередніх сусідів, а й з Німеччини; на

другому місці за обсягами імпорту – Великобританія, яка отримує електроенергію з Франції; найбільший відсоток імпорту характерний для «малих» країн (Фінляндія, Австрія, Угорщина). У країнах же з великим обсягом внутрішнього споживання частка імпорту невелика.

Наявність міждержавних ліній електропередачі ОЕС України з сусідніми ОСП континентальної Європи потенційно дозволяє оптимізувати структуру і режими та взаємовигідний обмін електроенергією з енергетичними системами країн Європейського Союзу (Угорщини, Словаччини, Польщі та Румунії) [9]. Наявність транскордонного обміну електроенергією із сусідніми до ОЕС України ОСП континентальної Європи зумовлений, зокрема, тим, що структура генеруючих потужностей є специфічною для кожної країни, наприклад, в Україні встановлена потужність АЕС дорівнює 13 835 МВт, в той же час у Польщі взагалі немає АЕС, а найбільша генерація здійснюється за рахунок ТЕС, встановлена потужність яких складає 28 794 МВт (табл. 1).

ОЕС України розділена на дві частини. Основна частина ОЕС України працює паралельно з енергооб'єднанням країн СНД та Балтії, а інша – «Острів Бурштинська ТЕС» – у складі об'єднання електроенергетичних систем континентальної Європи ENTSO-E (табл. 2) [10], що дозволило підвищити надійність її роботи та знизити потужність сумарної величини необхідного аварійного резерву.

Укренерго здійснює передачу електроенергії міждержавними ЛЕП з «Острова Бурштинської ТЕС» до Угорщини, Словаччини, Румунії. Наразі величина потужності максимально допустимого експорту – до 650 МВт. Згідно з [11], потужності інтерконекторів наступні:

Польща – 705 МВт, Угорщина – 235 МВт, Словаччина – 210 МВт, Румунія – 150 МВт.

Як видно з табл. 2, найбільші обсяги експорту електроенергії до Угорщини, Румунії та Польщі були у наступних місяцях 2020 р.:

- січні – 697 млн кВт·год;
- лютому – 740 млн кВт·год;
- березні – 774 млн кВт·год.

У свою чергу, обсяги імпорту у ті ж місяці були 561, 551 та 443 млн кВт·год, відповідно, з Словаччини, Угорщини та Білорусі.

Кожна з суміжних країн характеризується порівняно різними графіками електричних навантажень (ГЕН), різним ступенем використання власних потужностей, важливою особливістю є те, що максимумами/мінімумами споживання електроенергії є різними для енергосистем.

Період максимуму добового навантаження в ОЕС України, наприклад у 2018 р. мав місце

20 грудня. Значення параметрів споживання, покриття та розподілення потужностей генеруючих технологій, що забезпечили покриття ГЕН [12], представлені в табл. 3.

Порівняльні графіки електричного навантаження України та суміжних країн – Польщі, Угорщини, Румунії та Словаччини у 2018 р. наведено в табл. 4–8.

Таблиця 1. Значення встановленої генеруючої потужності (МВт), енергосистем України та суміжних країн Європейського Союзу (Угорщини, Польщі та Румунії) станом на початок 2021 р.

Генеруюча технологія	Україна	Польща	Румунія	Угорщина
АЕС	13 835		1 300	1 899
ТЕС ГК за видом палива:	21 842	28 794		5 498
- вугілля газової групи	10 723	272		
- вугілля антрацитової групи	6 519	20 925	986	42
- буре вугілля		7 597	2 483	1 007
- газ/мазут	4 600	359	2 184	4 029/420
ТЕЦ	6 104,5	2 555		
ГЕС	4 829	604	6 134	58
ГАЕС	1 487,8	1 794		
СЕС	5 391,6	3 473	1 145	1 458
ВЕС	1 111,2	6 570	2 957	323
Станції на біопаливі	199,5	880	117	241
Інші ВДЕ				73
Разом	54 800,6	45 029	17 306	9 612

Таблиця 2. Фактичні дані про обсяги експортованої/імпортованої електроенергії з/до ОЕС України (млн кВт·год) за 2020 р.

Країна	січень	лютий	березень	квітень	травень	червень	липень	серпень	вересень	жовтень	листопад	грудень	Всього
ЕКСПОРТ													
Угорщина	278	372	423	129	0	0	4	17	269	236	213	170	2 110
Словаччина	0	0	0	0	0	0	2	1	12	1	3	22	41
Румунія	223	177	149	21	0	0	1	6	43	97	130	23	868
Польща	151	149	159	88	125	102	114	113	108	149	123	103	1 484
Молдова	45	43	42	0	0	0	0	0	0	15	11	11	167
Росія	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Білорусь	0	0	0	0	0	0	12	35	36	0	0	0	83
ІМПОРТ													
Угорщина	97	178	97	37	16	9	11	19	9	23	11	9	516
Словаччина	329	270	309	103	14	8	10	18	44	105	145	118	1 474
Румунія	24	20	27	8	2	2	1	2	1	0	1	1	89
Польща	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Молдова	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Білорусь	93	49	8	3	0	0	0	0	0	0	0	0	152
Росія	18	34	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	53
ВСЬОГО													
Експорт	697	740	774	238	125	102	133	171	468	497	479	0	4 754
Імпорт	561	551	443	151	33	19	22	39	54	129	157	0	2 285
Обсяги технологічних перетоку електроенергії обумовлені паралельною роботою енергосистем України та суміжних країн													
Росія	3,5	4,6	6,4	4,7	5,2	5,3	4,5	5,6	3,6	5,9	5,2	4,5	58,9
Білорусь	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,9

Таблиця 3. Значення параметрів споживання, покриття та розподілення потужностей (МВт) генеруючих технологій, що забезпечили покриття ГЕН у період максимуму добового навантаження в ОЕС України 20 грудня 2018 р.

Години	Споживання	Покриття	АЕС	ТЕС ГК	ТЕЦ	ГЕС	Малі ГЕС	ГАЕС ген	ГАЕС зак	СЕС	ВЕС
0	18872	20433	11000	6276	2335	991	19	0	-939	0	317
1	18316	20135	10980	6415	2323	181	19	0	-938	0	317
2	18192	20169	10974	6348	2273	574	18	0	-1377	0	278
3	18212	20439	10995	6231	2278	1366	18	0	-1145	0	243
4	18457	20374	10979	6365	2282	990	18	0	-1147	0	244
5	19205	19869	10964	6195	2356	198	18	0	0	0	246
6	20721	21400	10997	7141	2394	1217	17	0	0	9	242
7	21798	22527	10976	7786	2366	2282	18	0	0	17	232
8	22899	23502	10985	8464	2319	2244	28	323	0	28	247
9	23403	24094	10968	8776	2330	2199	25	645	0	43	220
10	23577	24250	10989	9139	2329	1791	25	644	0	55	186
11	23355	24047	11003	9203	2336	1246	24	644	0	64	162
12	23205	23912	11014	9298	2334	1422	24	324	0	63	156
13	23318	24052	10996	9302	2330	1730	24	323	0	46	178
14	23127	23980	10979	9315	2323	1686	24	326	0	33	149
15	23488	24157	10976	9307	2361	2388	24	151	0	0	156
16	23667	24603	10988	9142	2359	2575	25	661	0	0	153
17	23344	24148	11003	8765	2358	2378	26	660	0	0	160
18	22901	23445	10982	8615	2346	2371	25	187	0	0	117
19	22587	23299	11005	8592	2370	2419	25	0	0	0	110
20	22147	22859	10987	8597	2373	1602	24	0	0	0	89
21	21768	22647	10987	8553	2369	629	15	318	0	0	98
22	20513	21251	10993	7480	2374	620	14	0	0	0	87
23	19881	21462	10994	7724	2375	567	13	0	-948	0	79

Таблиця 4. Порівняльні ГЕН України та суміжних країн (МВт) – Польщі, Угорщини, Румунії та Словаччини – для діб максимуму 20 грудня та мінімуму 27 травня добового навантаження в ОЕС України 2018 р. (за київським часом)

Години	Доба максимуму навантаження 20 грудня					Доба мінімуму навантаження 27 травня				
	Україна	Польща	Угорщина	Румунія	Словаччина	Україна	Польща	Угорщина	Румунія	Словаччина
1	20433	20082	5224	6994	3371	13658	14684	4023	5616	2721
2	20135	18893	4972	6880	3282	13659	13969	3864	5332	2615
3	20169	18349	4738	6845	3284	13341	13627	3639	5178	2547
4	20439	18042	4614	6934	3286	13243	13412	3552	5073	2551
5	20374	18005	4617	7184	3342	13201	12876	3512	5056	2527
6	19869	18305	4860	7730	3527	13050	12639	3429	4910	2491
7	21400	19103	5492	8610	3938	13444	13386	3558	4862	2603
8	22527	21768	6072	9139	4146	13664	14390	3862	5062	2790
9	23502	23792	6149	9319	4254	13762	15640	4106	5297	3006
10	24094	24593	6221	9359	4327	14312	16637	4370	5465	3197
11	24250	24835	6270	9272	4228	14300	17208	4540	5527	3296
12	24047	24778	6246	9140	4293	14473	17328	4624	5494	3316
13	23912	25022	6321	9073	4227	14383	17390	4657	5538	3218
14	24052	25063	6263	8968	4202	14376	17264	4548	5534	3106

Години	Доба максимуму навантаження 20 грудня					Доба мінімуму навантаження 27 травня				
	Україна	Польща	Угорщина	Румунія	Словаччина	Україна	Польща	Угорщина	Румунія	Словаччина
16	24157	24902	6209	9081	4104	14335	16705	4513	5449	3054
17	24603	25070	6304	9494	4252	14430	16524	4493	5501	3054
18	24148	25691	6338	9443	4216	14301	16502	4472	5548	3026
19	23445	25517	6217	9300	4154	14564	16669	4516	5624	3043
20	23299	25187	6141	9131	4078	14244	16920	4561	5723	3086
21	22859	25061	5927	8690	4011	14669	17124	4625	5824	3168
22	22647	24507	5781	8121	3771	15277	17665	4851	6198	3155
23	21251	23013	5569	7595	3597	14011	17145	4628	6044	3008
24	21462	21382	5371	7223	3444	13785	15804	4294	5618	2859

Таблиця 5. Порівняльні ГЕН України та суміжних країн – Польщі, Угорщини, Румунії та Словаччини – для діб максимуму 28 лютого та мінімуму 20 травня 2018 р. добового навантаження в ОЕС Польщі (за київським часом)

Години	Доба максимуму навантаження 28 лютого					Доба мінімуму навантаження 20 травня				
	Україна	Польща	Угорщина	Румунія	Словаччина	Україна	Польща	Угорщина	Румунія	Словаччина
1	20719	20025	5333	7457	3646	13723	14271	3819	5463	2735
2	20263	19365	5049	7271	3551	14040	13588	3659	5287	2618
3	20431	19063	4840	7183	3527	14113	13183	3468	5118	2554
4	20392	19106	4731	7164	3523	13990	13031	3378	5004	2549
5	20232	19474	4762	7273	3637	14062	12551	3320	5045	2536
6	20056	20350	5058	7457	3787	13971	12262	3207	4966	2499
7	21539	22455	5675	7969	4167	14103	12757	3272	4932	2638
8	22449	24431	6184	8661	4336	13840	13501	3522	5095	2796
9	23528	25582	6252	9273	4409	14498	14591	3729	5393	2975
10	23922	25806	6306	9511	4432	15068	15379	3936	5554	3171
11	23937	25604	6297	9509	4332	15148	15690	4017	5583	3277
12	23817	25759	6350	9366	4356	15447	15698	4023	5548	3308
13	23739	25766	6322	9453	4304	15462	15640	4035	5592	3183
14	23500	25700	6296	9297	4276	15484	15538	3955	5558	3064
15	23246	25387	6191	9011	4248	15303	15327	3897	5421	2999
16	23420	24903	6227	8842	4196	15281	14930	3864	5402	2944
17	23041	24737	6161	8820	4241	15433	14762	3874	5438	2962
18	23784	25435	6192	8894	4323	15398	14749	3896	5520	2941
19	23859	26258	6497	9385	4413	15633	15104	3904	5613	2962
20	23469	26081	6537	9606	4381	15645	15473	3951	5732	3026
21	23030	25439	6374	9449	4291	16165	15941	4010	6011	3120
22	22273	23893	6183	9037	4053	16394	16567	4310	6410	3121
23	21243	22307	5875	8389	3843	15033	15940	4149	6207	2991
24	21070	20934	5686	7823	3705	14159	14847	3906	5637	2834

Таблиця 6. Порівняльні ГЕН України та суміжних країн – Польщі, Угорщини, Румунії та Словаччини – для діб максимуму 2 березня та мінімуму 21 травня 2018 р. добового навантаження в ОЕС Угорщини (за київським часом)

Години	Доба максимуму навантаження 2 березня					Доба мінімуму навантаження 21 травня				
	Україна	Польща	Угорщина	Румунія	Словаччина	Україна	Польща	Угорщина	Румунія	Словаччина
1	20343	20108	5347	7475	3550	14277	13948	3576	5219	2729
2	19986	19480	5112	7258	3463	13842	13460	3433	5003	2624
3	20062	19235	4891	7127	3454	14075	13283	3250	4916	2590
4	20281	19149	4756	7105	3459	14097	13221	3142	4884	2598
5	20017	19506	4767	7151	3529	13888	13151	3096	4925	2638
6	19878	20342	5036	7329	3677	14181	13799	3016	5028	2768
7	21171	22365	5672	7840	4051	14975	16878	3132	5425	3177
8	22269	24385	6211	8585	4269	15590	19323	3371	6181	3365
9	23272	25385	6330	9152	4341	15999	20555	3591	6592	3501
10	23557	25585	6435	9392	4449	16110	21077	3840	6681	3520
11	23576	25473	6500	9315	4403	16107	20906	3927	6732	3491
12	23531	25655	6547	9276	4508	16423	21178	3986	6709	3525
13	23342	25484	6568	9144	4422	16334	21400	4019	6704	3585
14	23417	25578	6531	9057	4424	16569	21398	3946	6774	3556
15	23307	25071	6400	8881	4359	16615	20907	3911	6713	3546
16	22928	24593	6368	8774	4284	16363	20742	3921	6627	3473
17	23013	24448	6291	8731	4270	16308	20463	3950	6593	3467
18	23452	25075	6230	8844	4267	16187	20156	3980	6529	3411
19	23521	25907	6393	9223	4314	16155	19841	4040	6503	3376
20	23060	25764	6358	9326	4242	15956	20136	4111	6616	3434
21	22805	24917	6149	9125	4132	16653	20352	4245	6809	3482
22	21781	23381	5979	8727	3901	16755	20238	4418	7147	3407
23	21222	22016	5710	8086	3699	15468	18684	4184	6721	3179
24	20995	20843	5523	7557	3570	14990	17220	3880	6173	3010

Таблиця 7. Порівняльні ГЕН України та суміжних країн – Польщі, Угорщини, Румунії та Словаччини – для діб максимуму 27 лютого та мінімуму 8 квітня 2018 р. добового навантаження в ОЕС Румунії (за київським часом)

Години	Доба максимуму навантаження 27 лютого					Доба мінімуму навантаження 8 квітня				
	Україна	Польща	Угорщина	Румунія	Словаччина	Україна	Польща	Угорщина	Румунія	Словаччина
1	19976	19726	5205	7529	3580	14685	15218	4218	5473	2800
2	19998	19238	4995	7316	3469	14580	14548	4039	5320	2681
3	20301	18970	4769	7247	3457	14539	14197	3850	5115	2660
4	20207	19037	4674	7232	3464	14459	13999	3770	5039	2649
5	20168	19261	4695	7309	3543	14764	14095	3707	4988	2653
6	20009	20066	4991	7472	3716	14646	13824	3794	4941	2664
7	21153	22166	5621	7946	4126	14708	13698	3804	4877	2766
8	22321	24179	6125	8684	4338	14507	14434	4124	4863	2910
9	23503	25370	6204	9259	4433	14402	15463	4372	4986	3104
10	24187	25600	6297	9529	4519	14451	16215	4549	5018	3260

Години	Доба максимуму навантаження 27 лютого					Доба мінімуму навантаження 8 квітня				
	Україна	Польща	Угорщина	Румунія	Словаччина	Україна	Польща	Угорщина	Румунія	Словаччина
12	24072	25766	6390	9525	4480	14409	16356	4594	4859	3346
13	23928	25791	6443	9453	4438	14430	16398	4537	4760	3197
14	23918	25938	6424	9376	4410	14314	16196	4395	4650	3118
15	24046	25530	6264	9128	4380	13952	15841	4264	4542	3039
16	23787	25050	6296	8940	4319	13885	15479	4200	4548	2980
17	23585	24778	6222	8962	4362	13902	15388	4199	4553	2987
18	24005	25572	6223	9021	4392	13750	15576	4249	4642	2990
19	24280	26221	6469	9526	4466	13928	15889	4299	4764	3053
20	23937	26174	6478	9695	4433	15203	17022	4514	5033	3191
21	23362	25388	6271	9469	4298	16389	18199	5017	5748	3341
22	22710	23902	6125	9050	4084	15652	17415	4823	5881	3185
23	21496	22374	5787	8338	3915	15256	16506	4549	5579	3044
24	21531	21106	5589	7779	3731	14270	15456	4322	5251	2906

Таблиця 8. Порівняльні ГЕН України та суміжних країн – Польщі, Угорщини, Румунії та Словаччини – для діб максимуму 27 лютого та мінімуму 29 липня 2018 р. добового навантаження в ОЕС Словаччини (за київським часом) [12, 13]

Години	Доба максимуму навантаження 27 лютого					Доба мінімуму навантаження 29 липня				
	Україна	Польща	Угорщина	Румунія	Словаччина	Україна	Польща	Угорщина	Румунія	Словаччина
1	19976	19726	5205	7529	3580	13997	15366	3986	5808	2661
2	19998	19238	4995	7316	3469	14220	14659	3784	5490	2541
3	20301	18970	4769	7247	3457	14431	14217	3615	5344	2498
4	20207	19037	4674	7232	3464	14539	14112	3530	5247	2450
5	20168	19261	4695	7309	3543	14477	13653	3469	5201	2463
6	20009	20066	4991	7472	3716	14505	13131	3424	5170	2395
7	21153	22166	5621	7946	4126	14631	13803	3503	5142	2516
8	22321	24179	6125	8684	4338	14045	14748	3803	5321	2687
9	23503	25370	6204	9259	4433	14928	15967	4087	5635	2891
10	24187	25600	6297	9529	4519	15400	16949	4361	5814	3098
11	24254	25513	6363	9596	4429	15827	17645	4562	5965	3229
12	24072	25766	6390	9525	4480	16135	17870	4675	6035	3259
13	23928	25791	6443	9453	4438	16100	17843	4749	6201	3179
14	23918	25938	6424	9376	4410	16102	17721	4678	6235	3111
15	24046	25530	6264	9128	4380	16088	17380	4640	6099	3022
16	23787	25050	6296	8940	4319	16081	17059	4641	6051	2996
17	23585	24778	6222	8962	4362	16232	16814	4656	6072	3027
18	24005	25572	6223	9021	4392	16108	16785	4648	6131	2989
19	24280	26221	6469	9526	4466	16281	16987	4680	6136	2993
20	23937	26174	6478	9695	4433	15932	17101	4718	6233	2998
21	23362	25388	6271	9469	4298	16548	17196	4748	6402	3055
22	22710	23902	6125	9050	4084	16806	17609	4999	6669	3076
23	21496	22374	5787	8338	3915	15395	17051	4727	6353	2942
24	21531	21106	5589	7779	3731	14649	15830	4328	5907	2774

У [11] проаналізовано поточний стан генеруючих потужностей ОЕС України. Як показали результати аналізу, стан генеруючих потужностей в Україні та режимів їх роботи можна охарактеризувати як такий, що наразі має достатні обсяги генеруючих потужностей (навіть з урахуванням того, що частина генеруючих потужностей опинилася на непідконтрольній території) порівняно із загальним навантаженням в енергосистемі. Однак, ці потужності, у переважній більшості, є базовими і не призначені для частих і швидких змін режимів роботи, а та частина з них, що може змінювати свої режими роботи (в основному зосереджена на ТЕС), відпрацювала свій ресурс. Саме тому ОЕС України

характеризується як негнучка, тобто така, що має дефіцит відповідних маневрових потужностей.

Для забезпечення синхронної та стійкої роботи об'єднаних енергосистем важливим є врахування часу та значень найвищої та найнижчої електричної потужності для певного часу енергосистем України та суміжних країн членів ENTSO-E (табл. 4–9). Результати порівняння цих значень станом на 2018 р. [9, 12, 13] наведені в табл. 9.

Більш детальні параметри електричної потужності у 2018 р., коли спостерігалися максимуми і мінімуми навантаження для кожної з енергосистем України та суміжних країн членів ENTSO-E [12, 13] систематизовано в табл. 10.

Таблиця 9. Значення найвищої та найнижчої електричної потужності для енергосистем України та суміжних країн членів ENTSO-E у 2018 р.

Країна	Найвище навантаження			Найнижче навантаження		
	Дата	Година	Значення, МВт	Дата	Година	Значення, МВт
Угорщина	02.03.2018	11:00–12:00	6 572	21.05.2018	05:00–06:00	2 914
Польща	28.02.2018	18:00–19:00	24 465	20.05.2018	05:00–06:00	11 339
Румунія	27.02.2018	18:00–19:00	8 920	08.04.2018	13:00–14:00	4 091
Словаччина	27.02.2018	09:00–10:00	4 519	29.07.2018	05:00–06:00	2 395
Україна	20.12.2018	16:00–17:00	24 603	27.05.2018	05:00–06:00	13 050

Таблиця 10. Електрична потужність (МВт) у 2018 р., коли спостерігалися максимуми і мінімуми навантаження для кожної з енергосистем України та суміжних країн членів ENTSO-E.

Години	Максимуми				Мінімуми			
	Польща 28-02	Україна 20-12	Румунія 27-02	Угорщина 02-03	Польща 20-05	Україна 27-05	Румунія 08-04	Угорщина 21-05
1	20025	18990	7316	5347	14271	13475	5320	3437
2	19365	19013	7247	5112	13588	12897	5115	3286
3	19063	19258	7232	4891	13183	12429	5039	3150
4	19106	20031	7309	4759	13031	12172	4988	3089
5	19474	21602	7472	4964	12551	12067	4941	3025
6	20350	22760	7946	5421	12262	12282	4877	3015
7	22455	23916	8684	6054	12757	12794	4863	3132
8	24431	24422	9259	6318	13501	12879	4986	3089
9	25582	24632	9529	6395	14591	13459	5018	3591
10	25806	24375	9596	6479	15379	14025	4964	3840
11	25604	24180	9525	6541	15690	13937	4859	3927
12	25759	24306	9453	6592	15698	14122	4760	3986
13	25766	23336	9376	6587	15640	14064	4650	3965
14	25700	24499	9128	6531	15538	14103	4542	3865
15	25387	24684	8940	6404	15327	14022	4548	3911
16	24903	24357	8962	6368	14930	13858	4553	3904
17	24737	23909	9021	6305	14762	14073	4642	3950
18	25435	23579	9526	6395	14749	14087	4764	3980
19	26258	23132	9695	6410	15104	14095	5033	4040
20	26081	22703	9469	6358	15473	13951	5748	4111
21	25439	21385	9050	6149	15941	14453	5881	4245
22	23893	20719	8338	5979	16567	15173	5579	4230
23	22307	19895	7779	5710	15940	14273	5251	3935
24	20934	19308	7457	5523	14847	13395	4980	3693

Параметри участі у покритті сумарного мінімального та максимального навантаження енергетичної системи ENTSO-E 17.06 та 28.02.2018 р., відповідно, для кожної з енергосистем України та суміжних країн членів ENTSO-E зведено в табл. 11.

У табл. 4–11 проілюстровано у добовому розрізі (на прикладі характерної доби) режими споживання та експлуатації генеруючих потужностей кожної із суміжних енергетичних систем з урахуванням доступної потужності та накладених обмежень на доступну пропускну спроможність міждержавних перетинів.

Так, з аналізу таблиць, видно, що кожна з суміжних країн характеризується порівняно різними ГЕН, різним ступенем використання власних потужностей, а також зміщенням максимумів/мінімумів споживання. Варто зазначити, що у пе-

ріоди максимуму добового навантаження в ОЕС України (тобто у періоди імовірного дефіциту потужності та резервів) спостерігається зниження максимальних потенціальних обсягів імпорту із суміжних країн, тому що навантаження енергетичної системи ENTSO-E підвищується.

Налагодження паралельної роботи з потужною енергосистемою Європи дозволить провести переорієнтацію управління ОЕС України на європейський вектор розвитку, значно підвищити ефективність та надійність роботи енергосистеми, відокремити енергосистему нашої країни від швидко старіючої енергосистеми Російської Федерації, налагодити експорт електроенергії до Європи за рахунок збільшення виробництва більш дешевої та чистої електроенергії в умовах існуючої структури генерації України та необхідні обсяги імпорту з Європи.

Таблиця 11. Параметри участі у покритті сумарного мінімального та максимального навантаження енергетичної системи ENTSO-E 17.06 та 28.02.2018 р. для енергосистем України та суміжних країн членів ENTSO-E.

Година	Максимальне навантаження (МВт) 28.02.2018 р.					Мінімальне навантаження (МВт) 17.06.2018 р.				
	Польща	Україна	Румунія	Угорщина	Словаччина	Польща	Україна	Румунія	Угорщина	Словаччина
1	20025	19112	7271	5333	3646	15072	14694	5583	4070	2681
2	19365	18907	7183	5049	3551	14316	14820	5423	3906	2576
3	19063	18884	7164	4840	3527	13987	14724	5273	3727	2542
4	19106	19329	7273	4731	3523	13504	14658	5263	3650	2531
5	19474	20054	7457	4959	3637	13051	14865	5122	3588	2514
6	20350	21707	7969	5410	3787	12896	15112	5086	3500	2496
7	22455	22611	8661	6184	4167	13397	15012	5237	3613	2601
8	24431	23791	9273	6262	4336	14302	14228	5594	3905	2776
9	25582	24237	9511	6321	4409	15367	14960	5782	4175	2986
10	25806	24139	9509	6326	4432	16269	15585	5909	4409	3170
11	25604	23906	9366	6323	4332	16786	15816	5938	4590	3285
12	25759	23734	9453	6350	4356	16967	16200	6018	4693	3332
13	25766	23587	9297	6322	4304	16983	16158	6059	4733	3214
14	25700	23467	9011	6296	4276	16856	16157	5960	4627	3134
15	25387	23521	8842	6234	4248	16431	16230	5943	4589	3072
16	24903	23189	8820	6228	4196	16236	16228	6004	4589	3039
17	24737	23896	8894	6207	4241	16070	16210	6084	4619	3040
18	25435	24111	9385	6448	4323	16094	16312	6073	4624	3032
19	26258	23782	9606	6563	4413	16151	16302	6125	4605	3013
20	26081	23295	9449	6537	4381	16570	16091	6202	4622	3058
21	25439	22440	9037	6374	4291	16777	16380	6492	4675	3090
22	23893	21324	8389	6183	4053	17210	16804	6341	4904	3130
23	22307	20150	7823	5875	3843	17057	15678	5856	4717	2993
24	20934	19492	7482	5686	3705	15897	15360	5464	4392	2848

ВИСНОВКИ

1. Результати аналізу поточного стану генеруючих потужностей та режимів роботи ОЕС України, що наведені в таблицях, показали наявність проблем із забезпеченням балансової надійності через переобтяженість структури генеруючих потужностей базовими потужностями (енергоблоків АЕС, а також ТЕС) і з гострим дефіцитом маневрових потужностей та значного будівництва потужностей на ВДЕ. Вирішення цих питань має забезпечити готовність енергосистеми України до об'єднання з енергосистемою Континентальної Європи ENTSO-E, що закладе основи для синхронного функціонування ОЕС України з енергосистемами суміжних країн.

2. Особливості роботи енергетичних систем суміжних з Україною країн, членів Європейського Союзу – Угорщини, Словаччини, Польщі, Румунії та енергосистеми України характеризуються різним ступенем використання власних потужностей, а також зміщенням максимумів/мінімумів споживання, що потенційно дозволяє більш ефективно завантаження генеруючих потужностей із забезпеченням перетоку потужності між енергосистемами. Наведена інформація може бути використана для моделювання режимів завантаження генеруючих потужностей після синхронізації ОЕС України із енергосистемою Континентальної Європи ENTSO-E з урахуванням граничних значень обсягів транскордонного обміну електроенергією, географічного розташування енергосистем, що суттєво для врахування генерації електроенергії сонячними електростанціями, наявності та потужності міждержавних ліній електропередачі та максимально допустимих обсягів імпорту та експорту електроенергії.

1. Про ратифікацію Угоди про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони: Закон України від 16.09.2014 № 1678-VII. *Відомості Верховної Ради (ВВР)*. 2014. № 40. ст. 2021.

2. Угода про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони. Угоду ратифіковано із заявою Законом України від 16.09.2014 № 1678-VII.

3. Про ринок електричної енергії України: Закон України від 13.04.2017 № 2019-VIII. *Відомості Верховної Ради (ВВР)*. 2017. № 26-27. 312 с.

4. Про затвердження Правил ринку: Постанова Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг від 14.03.2018 № 307.

5. Про затвердження Правил ринку «на добу наперед» та внутрішньодобового ринку: Постанова Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг від 14.03.2018 № 308.

6. Шульженко С.В., Тюрютіков О.І., Іваненко Н.П. Модель математичного програмування з цілочисельними змінними визначення оптимального складу та завантаження енергоблоків теплових електростанцій та гідроагрегатів гідроакмулюючих електростанцій при покритті добового графіка електричних навантажень енергосистеми України. *Проблеми загальної енергетики*. 2020. Вип. 1(60). С. 14—23. <https://doi.org/10.15407/pge2020.01.014>

7. Денисов В.А. Визначення оптимальних режимів функціонування енергосистеми України при покритті добового графіку електричних навантажень, забезпеченні необхідних обсягів резервування та використанні накопичуючих потужностей. *Проблеми загальної енергетики*. 2020. Вип. 4(63). С. 33—44. <https://doi.org/10.15407/pge2020.04.033>

8. План інтеграції ОЕС України в ENTSO-E. Entsoe-200512162506.pdf. URL: https://www.slideshare.net/Ukrenergo/entsoe-233694096?from_action=save (дата звернення: 20.04.2021).

9. ENTSO-E. Statistical factsheet 2018. URL: https://eepublicdownloads.entsoe.eu/clean-documents/Publications/Statistics/Factsheet/entsoe_sfs2018_web.pdf (дата звернення: 20.04.2021).

10. Сальдо перетоків між енергосистемою України і енергосистемами суміжних країн. *Офіційний веб-сайт НЕК «Укренерго»*. URL: <https://ua.energy/peredacha-i-dyspetcheryzatsiya/dyspetcherska-informatsiya/peretoky/> (дата звернення: 20.04.2021).

11. Звіт з оцінки відповідності (достатності) генеруючих потужностей. *Офіційний веб-сайт НЕК «Укренерго»*. URL: <https://ua.energy/wp-content/uploads/2020/12/Proyekt-zvitu-z-otsinky-vidpovidnosti-dostatnosti-generuyuchykh-potuzhnostej-2020.pdf> (дата звернення: 20.04.2021).

12. Добовий графік виробництва/споживання електроенергії. *Сайт ПрАТ «Укренерго»*. URL: <https://ua.energy/peredacha-i-dyspetcheryzatsiya/dyspetcherska-informatsiya/dobovyj-grafik-vyrobnytstva-spozhyvannya-e-e/> (дата звернення: 20.04.2021).

13. Central collection and publication of electricity generation, transportation and consumption data and information for pan-European market. URL: <https://transparency.entsoe.eu/load-domain/r2/yearLoad/show>

Надійшла до редколегії: 08.06.2021