

ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ДИНАМІКИ ДОБОВОГО СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА ЕКОНОМІЧНУ ДОЦІЛЬНІСТЬ ПЕРЕТВОРЕНЬ В ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЦІ УКРАЇНИ

EVALUATION OF DAILY ELECTRICITY CONSUMPTION DYNAMICS EFFECT ON ECONOMIC PERFORMANCE OF TRANSFORMING ELECTRIC POWER ENGINEERING OF UKRAINE

Стаття присвячена оцінюванню впливу динаміки добового графіка споживання електричної енергії та розвитку сучасних технологій генерації на відновлюваних джерелах енергії (у тому числі, розвитку технологій акумулювання енергії) на економічну доцільність перетворень в електроенергетиці України. Проаналізовано зміну законодавства, у зв'язку зі зміною вектору розвитку національної економіки у напрямку європейської інтеграції та її вплив на подальший розвиток вітчизняної електроенергетики. Прослідковано зміну графіка електричного навантаження та його покриття за період 2010-2016 рр. Розглянуто тенденції розвитку генеруючих потужностей в Об'єднаній енергетичній системі України, на основі чого встановлено тяжіння до прискореного розвитку генеруючих потужностей на відновлюваних джерелах енергії, насамперед сонячної та вітрової енергетики. Встановлено, що в умовах зміни споживчої поведінки на ринку електричної енергії зменшується амплітуда коливань споживання на добовому графіку навантаження в Об'єднаній енергетичній системі України. Доведено, що це призводить до зростання середньої ціни у періоди низького попиту на електричну енергію протягом доби. Встановлено, що включення гідроакумулюючих електричних станцій України в роботу за теперішніх умов з метою участі у покритті добового графіка навантажень втрачає свою економічну доцільність. Тому автором запропоновано, на основі аналізу перспективних планів і стратегій розвитку галузі, у короткостроковій перспективі збільшити ціну відпуску на електричну енергію, що виробляється на вітчизняних гідроакумулюючих електричних станціях, у середньостроковій — провести поглинання всіх гідроакумулюючих електричних станцій Державним підприємством «НАЕК «Енергоатом», а у довгостроковій — здійснити техніко-економічне обґрунтування заміщення вітчизняних гідроакумулюючими електричними станціями на сонячні та вітрові електричні станції з акумуляторними батареями, що надасть змогу суттєво знизити ціни на електричну енергію не тільки для окремих годин доби, а й для всього періоду її споживання.

Ключові слова: ринок, електрична енергія, ГАЕС, АЕС, енергетична безпека.

The article was devoted to the impact assessment of dynamics of electricity consumption schedule and the development of modern technologies for the generation (including energy technological development) on the economic feasibility of the Ukrainian power industry transformation. The article analyses the changes in the legislation that was introduced into the law on the further development of the national economy in the direction of European integration and its impact on the further development of domestic electric power industry. Changes in the electric load schedule and its coverage for the period 2010-2016 has been made. The trends in the generation capacity of the United Energy System of Ukraine have been reviewed, which has been identified as important for ensuring the generation of renewable energy sources, primarily solar

and wind power. It is established that the changes in consumers' behaviour at the electricity market decrease, namely, consumption reduction on worthy graphs. It is proved that this will lead to an increase of the average prices in periods of low demand for electricity during the day. It is indicated that the inclusion of Ukrainian hydroelectric power stations in work under present conditions in order to participate in the coverage of the daily load schedule loses its economic feasibility. The author proposes, on the basis of analysis the perspective plans and industry development strategies, in the short-term perspective to increase the prices for electricity produced at domestic pumping hydroelectric power stations, in the medium-term — to carry out the absorption of all pumping hydroelectric power stations by the State enterprise NNEGC "Energoatom", and in the long-term — to carry out a feasibility study on the replacement of domestic pumping hydroelectric power stations by solar and wind power station with batteries, which will significantly reduce the prices for electricity not only for certain hours of the day, but for the whole period of its use.

Keywords: market, electric power, HPS, nuclear power plant, energy security.

Вступ. В епоху стрімкого розвитку альтернативної енергетики традиційні технології генерації електричної енергії подекуди втрачають не тільки свою цінність, а й взагалі свою доцільність.

Усестороннім нагальним проблемам в енергетиці та імовірним викликам, що можуть постати перед нею, присвячена неабияка кількість наукових праць як економістів, так і енергетиків, серед яких, перш за все, симбіотично поєднаних з точки зору обох напрямів, слід виділити праці Ю. М. Васьковського [1], С. В. Войтка [2-3], А. Ю. Гайденка [4], С. О. Кудрі [5], С. П. Денисюка [6], Б. С. Серебреннікова [7], В. Ф. Шинкаренка [8], С. В. Шульженка [9] та низки інших. Таким чином, дане дослідження характеризується актуальністю та покликане вирішити наукові та практичні завдання, пов'язані з оцінювання впливу зміни споживчої поведінки на ринку електричної енергії та розвитку технологій генерації на подальший гармонійний розвиток електроенергетики України з огляду на забезпечення енергетичної безпеки держави.

Постановка завдання. Метою дослідження є оцінювання впливу зміни добового споживання електричної енергії, викликаного зміною споживчої поведінки на ринку електричної енергії, на економічну доцільність перетворень в електроенергетиці України у контексті енергетичної безпеки, оптимальності покриття графіка навантаження і структури потужностей з огляду на стан розвитку технологій генерації електричної енергії на відновлюваних джерелах енергії та технологій її акумулювання.

Методологія. Методологічною основою дослідження послужили наукові праці вітчизняних і зарубіжних дослідників з економіки та енергетики, офіційні статистичні дані, звіти, на основі яких формуються рекомендації щодо розвитку електроенергетики, а також загальнонаціональні плани та стратегії. Використано методи аналізу, синтезу, формалізації, логіки та абстракції. Для оцінювання динаміки добового графіка навантаження та її впливу на економічну доцільність перетворень в електроенергетиці були використані дані Державної служби статистики, а також диспетчерські дані ДП «НЕК «Укренерго» і ДП «НАЕК «Енергоатом».

Результати дослідження. В Україні, останнім часом набула чинності

значна кількість законодавчих актів (у тому числі, стратегій, планів тощо) та ініціатив, що пов'язана, у першу чергу, з європейською інтеграцією країни. Однак, результати їх імплементації, значною мірою, не відповідають загальним очікуванням, що, здебільшого, викликане, спочатку, невірним обраним підходом до управління змінами, включаючи наукове обґрунтування та визначення фінансового підкріплення, супроводу та джерел фінансування, і, як наслідок, недолугою реалізацією, недотриманням основних вимог і строків, перерозподіл фінансування тощо.

Показовим прикладом необґрунтованого управління змінами можуть послужити зміни, що мали місце упродовж останніх років в електроенергетиці України. Однак, переходячи до конкретних прикладів, не слід забувати про те, що серед перелічених вище чинників, мали і мають місце низка й інших. У нашому випадку одними серед найбільш вагомими є стрімкий розвиток технологій генерації на відновлюваних джерелах енергії (далі ВДЕ) поряд зі зміною споживчої поведінки на ринку електричної енергії, що, у наслідку, згладжує криву попиту.

Так, за період 2007-2017 років (увесь період статистичних спостережень в Україні), встановлена потужність електричних станцій на ВДЕ у загальній структурі генеруючих потужностей України зросла більш ніж у 2,5 рази (табл. 1). При цьому, згідно з «Енергетичною стратегією України на період до 2035 року: “Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність”» [10] передбачається подальше зростання їх частки (табл. 2).

Таблиця 1 — Енергоспоживання на основі відновлюваних джерел за 2007-2017 рр.

Джерела	Роки					
	2007	2009	2011	2013	2015	2017
Загальне постачання первинної енергії, тис. т н.е.	139330	114420	126438	115940	90090	89625
із нього						
Гідроенергетика, тис. т н.е.	872	1026	941	1187	464	769
у % до підсумку, %	0,6%	0,9%	0,7%	1,0%	0,5%	0,9%
Енергія біопалива та відходи, тис. т н.е.	1508	1433	1563	1875	2102	3046
у % до підсумку, %	1,1%	1,3%	1,2%	1,6%	2,3%	3,4%
Вітрова та сонячна енергія, тис. т н.е.	4	4	10	104	134	149
у % до підсумку, %	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,1%	0,2%
Усього енергія від відновлюваних джерел						
Загальне постачання енергії від відновлюваних джерел, тис. т н.е.	2384	2463	2514	3166	2700	3964
Частка постачання енергії від відновлюваних джерел, %	1,7%	2,2%	2,0%	2,7%	3,0%	4,4%

Примітка: дані наведено без урахування тимчасово окупованої території Автономної Республіки Крим і м. Севастополя та частини тимчасово окупованих територій у Донецькій та Луганській областях.

Джерело: [11].

До такої технології наразі можна віднести гідроакumuлюючі електричні

станції (тут і далі — ГАЕС). В Україні вони представлені на річках Дніпро, Дністер та Південний Буг. Суть їх роботи полягає у тому, аби за теперішніх умов вітчизняного ринку вони здійснювали закачування води у періоди найменшого добового споживання (перехід у насосний режим роботи за базового рівня навантаження), що еквівалентно потенційній енергії води, до верхніх водойм або резервуарів з метою їх спускання у періоди доби з найбільшим споживанням (генераторний режим роботи у пікові години).

Таблиця 2 — Структура первинних енергетичних ресурсів України, 2010-2035 рр.

Найменування джерел первинного постачання енергії	2010 рік	2015 рік	2020 рік (прогноз)	2025 рік (прогноз)	2030 рік (прогноз)	2035 рік (прогноз)
Вугілля, млн т н.е.	38,3	27,3	18	14	13	12
Частка від загального постачання, %	-	30,4	22	16,1	14,3	12,5
Природний газ, млн т н.е.	55,2	26,1	24,3	27	28	29
Частка від загального постачання, %	-	28,9	29,3	31	30,8	30,2
Нафтопродукти, млн т н.е.	13,2	10,5	9,5	8	7,5	7
Частка від загального постачання, %	-	11,6	11,5	9,2	8,2	7,3
Атомна енергія, млн т н.е.	23,4	23,0	24	28	27	24
Частка від загального постачання, %	-	25,5	29,3	32,2	29,7	25,0
Біомаса, біопаливо та відходи, млн т н.е.	1,5	2,1	4	6	8	11
Частка від загального постачання, %	-	2,3	4,9	6,9	8,8	11,5
Сонячна та вітрова енергія, млн т н.е.	0,0	0,1	1	2	5	10
Частка від загального постачання, %	-	0,1	1,2	2,4	5,5	10,4
ГЕС, млн т н.е.	1,1	0,5	1	1	1	1
Частка від загального постачання, %	-	0,5	1,2	1,1	1,1	1,0
Термальна енергія, млн т н.е.	-	0,5	0,5	1	1,5	2
Частка від загального постачання, %	-	0,6	0,6	1,1	1,6	2,1
Всього, млн т н.е.	132,3	90,1	82,3	87	91	96
Частка від загального постачання, %	100	100	100	100	100	100
У т.ч. вичерпані ресурси	-	96	92	88	83	75
У т.ч. відновлювані ресурси	-	4	8	12	17	25

Джерело: [10].

Проте, не слід забувати, що процес закачування води (у насосному режимі) супроводжується втратами, а тому ККД при перекачуванні води на ГАЕС України становить 70-71 % (залежно від конкретної ГАЕС) [12]. Таким чином, аби робота ГАЕС протягом доби мала місце (з урахуванням втрат), слід, щоб різниця в цінах за споживання електричної енергії для ГАЕС (у насосному режимі) та цінах її реалізації (у генераторному режимі) становила принаймні 29-30 %. Такої різниці у цінах можна досягти, тільки у тому випадку, коли джерелом електричної енергії (для насосного режиму) слугувати найдешевше джерело електричної енергії (в Україні ним на разі є АЕС), що й зображено на добовому графіку електричного навантаження в ОЕС України (рис. 1).

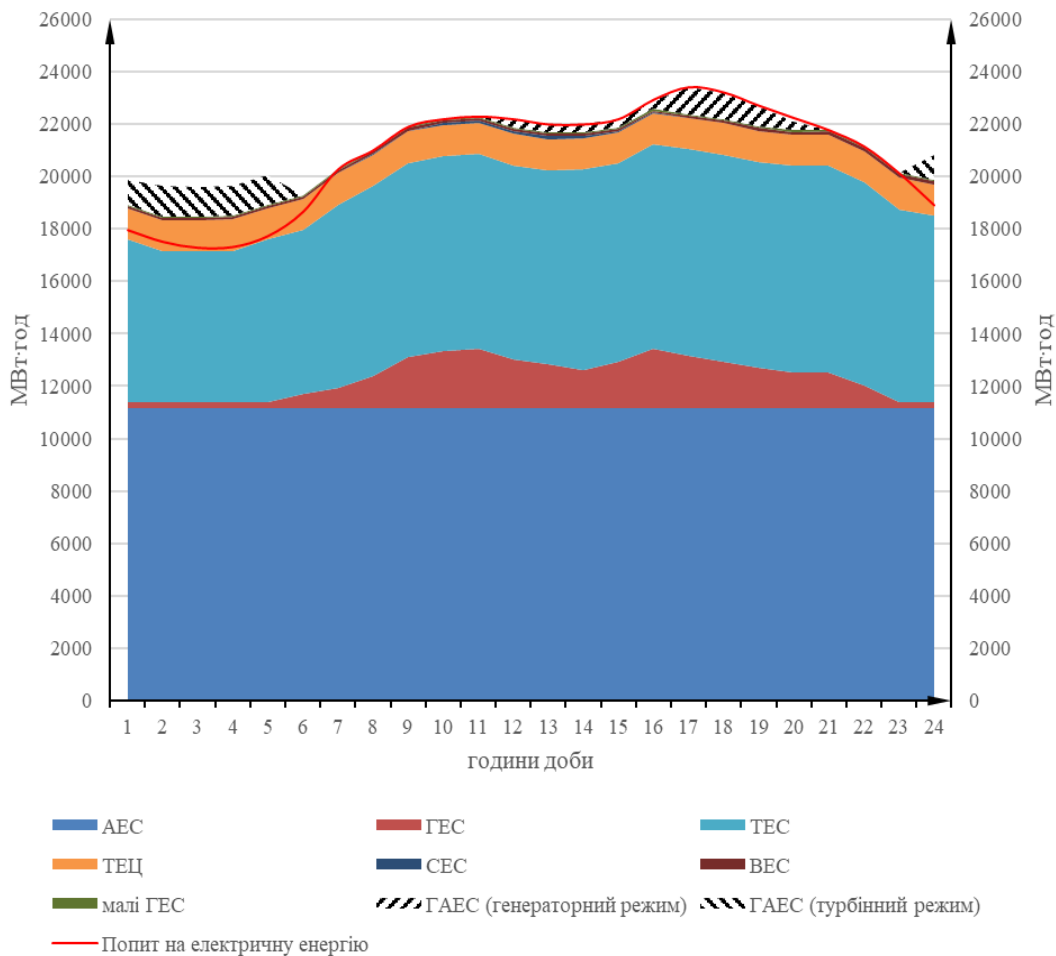


Рисунок 1 — Добовий графік навантаження/покриття електричної енергії в ОЕС України на прикладі 01.12.2016 р.

Джерело: [13].

Проаналізувавши добовий графік споживання електричної енергії в Україні та графік її покриття, не складно помітити, що дійсно ГАЕС України працюють в насосному режимі роботи у години мінімуму споживання, а в генераторному режимі — у години максимуму споживання. Та, поряд з тим, на стільки ж не складно помітити, що для покриття навантаження протягом годин його найменшого значення задіяні всі електричні станції — від

найдешевших АЕС та дорогих ТЕС і ТЕЦ. Також слід відмітити, що комбінована робота ГЕС разом з ГАЕС має суттєві обмеження, оскільки вони разом з останніми працюють на одних і тих же річкових каскадах, оперуючи одними ж значенням потенційної енергії води, а тому включення у роботу одних виключає можливість включення інших.

Таким чином, знаючи відпускну ціну на електричну енергію в Україні для кожної технології генерації, можна визначити вартість покриття кожної години добового графіка навантаження в ОЕС України, яка графічно представлена на рис. 2.

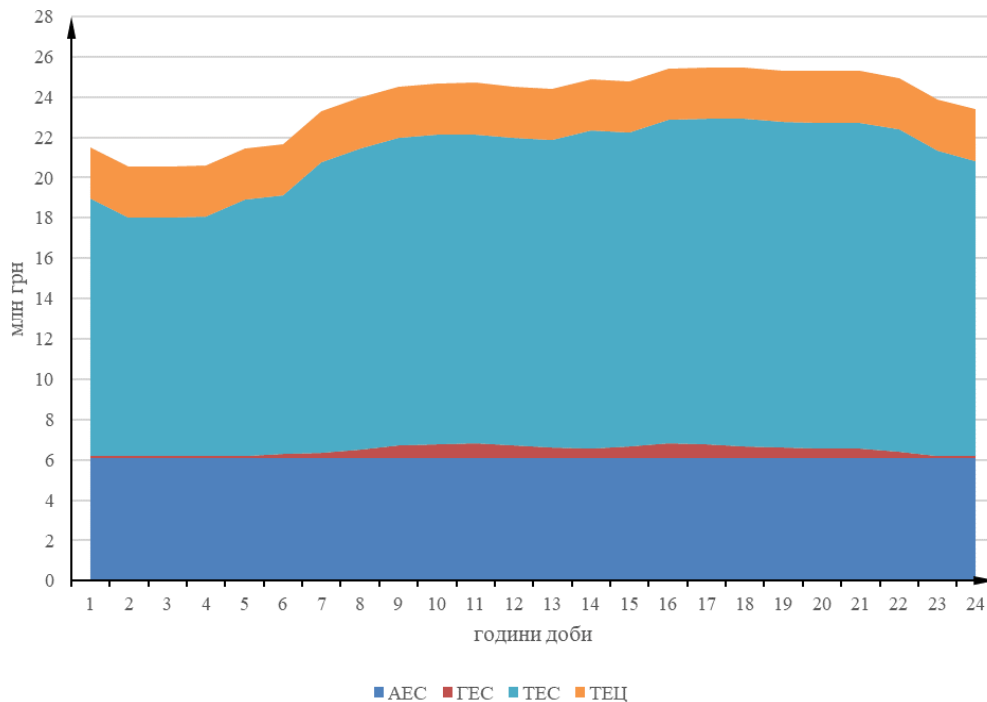


Рисунок 2 — Погодинна вартість покриття добового графіка електричного навантаження в ОЕС України на прикладі 01.12.2016 р. (без урахування втрат, міждержавних перетоків, а також плати за розподіл і транспортування)

Джерело: [14].

На графіку погодинної вартості покриття добового графіка (рис. 2) наведені дані щодо тих технологій, ціни на електроенергію яких формуються за ринковими правилами та віддачою електричної енергії на яких можна керувати та, відповідно, планувати їх роботу, чого за сучасних умов складно домогтися на СЕС і ВЕС. Виходячи з представленого на рис. 2, можна стверджувати, що включення ГАЕС у роботу з метою покриття добового графіка навантаження не є економічно доцільним (різниця цін на електроенергію у пікові та базові години споживання становить менше 20 %). Однак, такого раніше не спостерігалось. Причина таких змін полягає у трансформуванні добового графіка навантаження в ОЕС України, який наразі є більш рівномірним і не має настільки виражених годин мінімуму та максимуму навантаження (менша амплітуда коливання навантаження

протягом доби), як це було наприкінці минулого – початку теперішнього століття.

Відповідно до таких змін на графіку навантаження, слід збільшити обсяги виробництва електроенергії на АЕС (як технології з найменшою ринковою ціною на електричну енергію у нашому випадку) до рівня принаймні мінімального споживання протягом доби, як це показано на рис. 3, що значною мірою надає змогу зменшити витрати на покриття добового графіка навантаження (з 4113,1 млн грн за добу на прикладі 01.12.2016 року до 2500-3500 млн грн за добу) [14]. Але, оскільки на сьогодні Україна не має планів розвитку атомної енергетики ані на короткострокову, ані, тим більше, на довгострокову перспективу [15], збільшення частки АЕС у загальному балансі є надто сумнівним, особливо звертаючи увагу на те, як стрімко розвиваються технології акумулювання енергії в акумуляторних батареях, що за їх широкого розповсюдження надає можливість віднести СЕС і ВЕС до частково керованих типів генерації.

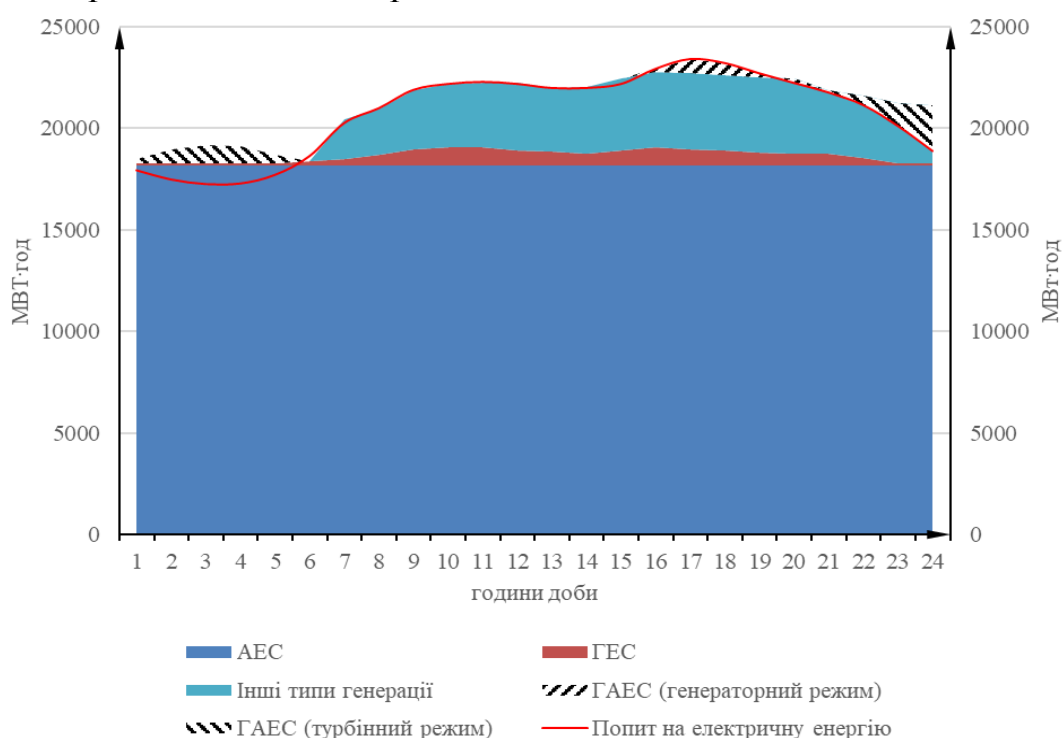


Рисунок 3 — Графік оптимального балансу потужності в ОЕС України за максимального економічного ефекту від включення ГАЕС з метою участі у покриття добового графіка навантажень на прикладі 01.12.2016 р.

Джерело: авторські розрахунки.

Комплексне використання акумуляторних батарей на СЕС і ВЕС, у свою чергу, може слугувати певною альтернативою сучасним ГАЕС з аналогічним ККД при трансформуванні енергії з одного її виду в інший, але з меншим ресурсом і більш складним комплексом робіт з обслуговування. А це, теж, як і у випадку з ГАЕС потребує наявності значної диференціації цін протягом доби.

Так чи інакше, це відноситься до перспективних питань обґрунтування економічно-доцільного розвитку електроенергетики, адже це потребує

значних як фінансових, так і часових витрат на реалізацію проектів заміщення ГАЕС на комплекси СЕС/ВЕС з акумуляторними батареями.

Тим не менше, найближчим часом в Україні має запрацювати новий ринок електричної енергії, основна частка якої на ньому буде реалізовуватися на підставі двосторонніх договорів між кінцевими споживачами та генеруючими компаніями [16]. За таких умов, економічно-виправданим включення у роботу ГАЕС з метою участі у покритті добового графіка навантаження в ОЕС України матиме місце за умови поглинання Київської та Дністровської ГАЕС Державним підприємством «НАЕК «Енергоатом» (з відповідними часово-диференційованими трансфертними цінами). А тим часом лишається тільки збільшувати ціну на відпуск електричної енергії, що генерується на вітчизняних ГАЕС.

За таких умов, остання зможе забезпечити зростання виробництва (принаймні за рахунок зменшення строків виведення обладнання в резерв та ремонт понад нормований час) і, відповідно, реалізацію своєї продукції, що характеризується найменшою ринковою ціною, без погодження з ДП «Енергоринок», забезпечивши себе як резервами (перед оператором системи передачі), так і можливістю продажу електроенергії різними обсягами для різних годин доби, адже в країні налічується вкрай мало споживачів, які потребують енергозабезпечення на сталому рівні та впродовж тривалого відрізка часу. За такого розкладу, генеруючі потужності ГАЕС будуть навіть дефіцитними, що потребує додатково дослідження на предмет техніко-економічного обґрунтування їх розширення.

Висновки. Нестационарні, а, подекуди, й турбулентні, умови функціонування вітчизняної електроенергетики стають неабиякими перепонами на шляху її розвитку, що пов'язано як зі зміною добового графіка навантаження та його річним зростанням, так і диспропорційністю розвитку генеруючих потужностей в складі ОЕС України. У результаті чого, доведено, що стала енергетична система може втратити свою стійкість, а використання деяких з її елементів з плином часу може виявитися економічно-недоцільним.

Науковою новизною дослідження є виявлення помилкового збільшення вартості покриття добового графіка електричного навантаження за рахунок історично-інерційного включення в його роботу гідроакумуючих станцій, що за сучасних умов ринку і попиту на ньому не виконують свого основного завдання — економічної доцільності акумулювання електричної енергії у години провалу споживання з її подальшою віддачею у мережу в години піку споживання (з урахуванням різниці ціни на електроенергію, яка споживається ГАЕС і, яка нею генерується).

Подальшими науковими розвідками мають стати дослідження і техніко-економічні обґрунтування різних сценарних припущень розвитку електроенергетики за нових умов ринку електричної енергії з наданням подальших висновків і пропозицій стосовно збільшення або зменшення частки всіх представлених видів генерації у загальній структурі генеруючих потужностей ОЕС України.

Література:

1. Васьковський Ю. М. Математичне моделювання електромеханічних перетворювачів енергії : Навч. посіб. Київ : КПІ, 2003. 164 с.
2. Войтко С.В., Трофименко О.О. Функціонування, стратегічний розвиток і регулювання відновлюваної енергетики : монографія. Київ : КПІ, 2014. 178 с.
3. Войтко С. В. Фактори ефективного використання енергетичних та матеріально-технічних ресурсів на машинобудівному підприємстві. *Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Серія : Технічний прогрес та ефективність виробництва. № 65.* Харків : ХПІ, 2014. С. 130-137.
4. Васьковський, Ю. М., Гайденко, Ю. А., Цивінський, С. С. Основи комп'ютерних технологій аналізу та синтезу електричних машин. Ч. 2: Використання комп'ютерних систем математичних розрахунків MatLab та FEMM для аналізу електричних машин. Київ : КПІ, 2011.
5. Кудря С. О. Стан та перспективи розвитку відновлюваної енергетики в Україні (за матеріалами наукової доповіді на засіданні Президії НАН України 7 жовтня 2015 р.). *Вісник Національної академії наук України № 12.* Київ: 2015. С. 19-26.
6. Денисюк С. П., Василенко В. І. Енергетичні, економічні та екологічні показники енергоефективності. *Енергетика: економіка, технології, екологія № 1.* Київ : КПІ, 2016. С. 33-44.
7. Серебренников Б. С., Петрова Е. Г. Маркетинговая сегментация розничного рынка электроэнергии. *Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит № 10 (116).* Київ : 2013.
8. Шинкаренко В.Ф., Гайдаенко Ю.В. Структурно-системный анализ гибридных электромеханических объектов внутриродового уровня. *Електротехніка і електромеханіка № 5.* Київ : КПІ, 2010. С. 30-33.
9. Шульженко С.В. Особливості розрахунку вартісних показників у задачах прогнозування розвитку електроенергетичних систем за ринкових умов їх функціонування. *Пробл. заг. енергетики. № 18.* Київ : 2008. С. 16-20.
10. Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2035 року "Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність" : розпорядження Кабінету Міністрів України від 18.08.2017 р. № 605-р.
11. Енергоспоживання на основі відновлюваних джерел за 2007 - 2017 роки. Державна служба статистики України. URL: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2016/sg/ekolog/ukr/esp_vg_u.htm (дата звернення: 26.02.2019).
12. Денисевич К. Б., Ландау Ю. А., Нейман В. А. Енергетика: история, настоящее и будущее. *Развитие атомной энергетики и объединенных энергосистем.* Київ: «Энергетика: история, настоящее и будущее», 2011.
13. Диспетчерська інформація. ДП «НЕК «Укренерго». URL: <https://ua.energy/diyalnist/dyspatcherska-informatsiya> (дата звернення: 26.02.2019).
14. Електрична енергія. Національна комісія що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг (НКРЕКП). URL: <http://www.nerc.gov.ua/?id=13844> (дата звернення: 26.02.2019).
15. Стратегічний план розвитку Державного підприємства «Національна атомна енергогенеруюча компанія «Енергоатом» на 2018-2022 роки. Державне підприємство «Національна атомна енергогенеруюча компанія «Енергоатом». URL: http://www.energoatom.kiev.ua/files/file/strateg_chniy_plan_2018_2022_04042018.pdf (дата звернення: 26.02.2019).
16. Про ринок електричної енергії : Закон України. Відомості Верховної Ради України. 2017. № 27-28. Ст. 312.