

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ І СИСТЕМ ЕНЕРГЕТИКИ

УДК 621.165.62-192

О.Ю. ЧЕРНОУСЕНКО, д-р техн. наук, проф.,
Л.С. БУТОВСЬКИЙ, канд. техн. наук, доц., О.О. ГРАНОВСЬКА, канд. техн. наук, доц.,
В.А. ПЕШКО, аспірант, О.С. МОРОЗ, студент,
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,
пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056

ВПЛИВ РОБОТИ У МАНЕВРЕНИХ РЕЖИМАХ ЕНЕРГОБЛОКІВ ТЕС НА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Представлено результати аналізу зміни техніко-економічних характеристик енергоблоків ТЕС потужністю 150, 200/210, 300 МВт ТОВ «ДТЕК Енерго» при роботі у маневрених режимах (пуск-зупинка). Розглянуто зміну витрат електричної енергії на власні потреби та питому витрату умовного палива. Проведено порівняння характеристик для різних станцій за період з 2011 по 2015 рр. та на 2016 р. (прогноз).

Ключові слова: енергоблок, маневрений режим, витрата електроенергії, власні потреби, умовне паливо.

Вступ. Характерною особливістю промисловості України як економічно розвинутої країни є добова та річна нерівномірність споживання електричної та теплової енергії.

Виконання графіка енергетичного навантаження вимагає від виробників електричної та теплової енергії змінювати свою потужність у відповідності із зміною навантажень, для цього треба забезпечити маневреність обладнання, тобто властивість до швидкої зміни потужності у широкому діапазоні від номінальної до технічно можливої мінімальної. Особливістю роботи електроенергетичної системи є також наявність провалів електричного навантаження у святкові дні та нічні години з наступним швидким пуском та набором навантаження [1].

Необхідність виконання графіка змінного

навантаження вступає у протиріччя з вимогами зберігання високої надійності та економічності обладнання.

Останнім часом в багатьох розвинених країнах для покриття пікових навантажень використовуються газотурбінні та парогазові установки, однією з основних переваг яких є можливість зняття піків навантажень за рахунок швидкого пуску та зупинки [2]. Газотурбінні або парогазові установки використовуються самостійно або в комбінації з паросиловою установкою, що значно підвищує коефіцієнт корисної дії циклу.

У зв'язку з економічними складнощами України в даний час ГТУ та ПГУ в Україні в ролі стаціонарних установок не використовуються.

В Україні потужності ГЕС та ГАЕС, які можуть бути використані як високоманеврені

© О.Ю. ЧЕРНОУСЕНКО, Л.С. БУТОВСЬКИЙ,
О.О. ГРАНОВСЬКА, В.А. ПЕШКО, О.С. МОРОЗ, 2016

пікові потужності, становлять лише 10,2 % проти 15 %, необхідних для сталої роботи енергосистеми [3,4]. Тому потужностей ГЕС та ГАЕС не вистачає для регулювання режиму енергоспоживання.

Основне виробництво електроенергії в Україні припадає на теплові (ТЕС) та атомні (АЕС) електростанції. Так, у 2012 р. потужність ТЕС та великих ТЕЦ становила 54,5 % від сумарної встановленої потужності всіх енергоблоків при виробництві ними електроенергії у об'ємі 44,7% від загального обсягу виробництва. На АЕС відповідно припадає 25,8 % електричної потужності і 45,5 % виробленої електроенергії [4].

Таким чином, основну структуру генеруючих електричних потужностей країни становлять базові АЕС та великі ТЕС і вона характеризується гострим дефіцитом маневрених потужностей. Внаслідок цього для виконання змінних навантажень використовуються енергоблоки, що спроектовані для роботи у базових режимах.

Вважається, що для забезпечення стабільної роботи електричних станцій у структурі генеруючих потужностей базові енергоблоки повинні становити 50–55 %, напівпікові блоки – 30–35 %, а пікові енергоблоки – 15 % [4]. В ролі маневрених напівпікових потужностей можуть використовуватися блоки потужністю 100–150 МВт. Але вони можуть забезпечити лише 18 % пікових потужностей замість потрібних 30–35 %. Тому у маневрених напівпікових режимах використовують також блоки 200–300 МВт, які проектувалися для роботи при постійному навантаженні. Як наслідок, в Україні третину зменшення навантаження покривають ГЕС, інше – вугільні ТЕС у кількості 9–16 енергоблоків [5] з вимушеною зупинкою на ніч на 4–6 годин.

Необхідно також враховувати, що енергоблоки України потужністю 200–300 МВт було введено в дію в 60–70-х роках ХХ століття і на теперішній час всі вони практично відпрацювали свій парковий ресурс, який дорівнює 150–220 тис. годин і нормативну кількість у 400–800 пусків (Типова інструкція, СОУ Н МПЕ 40.17.401:2004). Як наслідок, аналіз сумарних характеристик роботи пилувугільних енергоблоків ТЕС України свідчить про низький коефіцієнт використання встановленої потужності порівняно зі світовими показниками, що ста-

новлять більше 90 % у розвинутих країнах. Збільшилась також і аварійність роботи ТЕС.

Середній ККД енергоблоків становить близько 31 % (45 % при роботі у базовому режимі у розвинутих країнах), витрати умовного палива на окремих ТЕС дорівнюють 363–429 г.у.п. на 1 кВт електроенергії. Величина ККД (нетто) пилувугільних котлів знаходиться в діапазоні 75–86 %. Коефіцієнти готовності встановленої потужності для більшості пилувугільних блоків низькі, тільки у 13 пилувугільних енергоблоків з 89 (у 15 %) вони були 90 %. Середній коефіцієнт використання встановленої потужності пилувугільних енергоблоків становить 40 %.

Метою роботи є визначення впливу маневрених режимів («пуск-зупинка» після нічного простою) на техніко-економічні показники – питомої витрати умовного палива та витрати електроенергії на власні потреби блоків 200 МВт та 300 МВт ТЕС ТОВ «ДТЕК Енерго» за 2011–2016 (2016 р. – прогноз) рр.

Результати аналізу. В табл. 1 наведено дані щодо питомої витрати умовного палива ТЕС ТОВ «ДТЕК Енерго» при роботі на номінальному навантаженні на період 2011–2016 рр. (2016 р. – прогноз). Дані отримано на підставі аналізу матеріалів, представлених «ДТЕК Енерго» за результатами роботи відповідних ТЕС.

Вихідні дані, представлені «ДТЕК Енерго» щодо витрати електроенергії на власні потреби за 2011–2016 рр., наведено в табл. 2.

Питома витрата умовного палива на відпуск електроенергії за 2012 р. дорівнювала 388,3 г/кВт·год [4], а за 2013 р. – 396,0 г/кВт·год [6].

Як видно з порівняльних даних (табл.1), до 2015 р. показники таких станцій, як Запорізька, Зуївська, Ладизинська, Криворізька, Курахівська, Бурштинська та Добротворська ТЕС знаходяться або нижче, або дорівнюють значенню середніх показників. У таких станцій, як Придніпровська ТЕС та Луганська ТЕС питома витрата умовного палива вища, ніж середньостатистичні дані. Крім того, слід зауважити, що у таких станцій, як Криворізька, Ладизинська, Зуївська, Курахівська спостерігається тенденція підвищення питомої витрати умовного палива за 2014–2015 рр. Ця тенденція була врахована при визначенні прогнозних даних щодо питомої витрати умовного палива

Таблиця 1 – Питома витрата умовного палива ТЕС ТОВ «ДТЕК Енерго» при роботі на номінальному навантаженні (2016 р. – прогноз)

Питома витрата умовного палива ТЕС	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Криворізька	377,80	382,60	391,20	396,34	442,92	477,91
Придніпровська	411,60	422,40	430,00	427,80	441,39	476,26
Ладизинська	380,00	378,00	380,00	389,01	394,63	425,81
Зуївська	349,00	356,60	356,50	362,97	373,14	402,62
Запорізька	362,50	368,40	364,10	353,28	353,68	397,50
Добротворська	419,30	410,90	411,30	414,35	409,50	442,28
Курахівська	385,30	388,30	386,70	379,54	393,20	414,75
Луганська	425,20	427,60	426,70	420,34	447,83	472,37
Бурштинська	409,40	404,10	398,50	398,52	397,42	431,84

Таблиця 2 – Витрата електроенергії на власні потреби ТЕС «ДТЕК Енерго» при роботі на номінальному навантаженні

Витрата електроенергії на власні потреби ТЕС	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Криворізька	7,55	7,67	7,83	6,97	10,48	12,16
Придніпровська	10,06	10,50	10,57	9,72	12,52	14,52
Ладизинська	8,19	7,74	7,65	7,86	7,84	9,50
Зуївська	7,03	7,50	7,28	7,25	8,11	9,41
Запорізька	7,54	8,05	7,64	6,52	6,66	9,34
Добротворська	10,39	9,49	9,55	8,90	8,93	10,90
Курахівська	10,24	10,48	10,31	9,51	10,24	10,99
Луганська	10,79	10,91	10,87	9,30	12,39	13,00
Бурштинська	9,67	9,73	9,81	8,95	8,93	10,29

та витрати енергії на власні потреби на 2016 р. (табл. 1,2).

При оцінці впливу маневрених режимів на техніко-економічні показники роботи ТЕС за базу для порівняння використано розрахунки роботи електростанцій на часткових режимах енергоблоків 200 МВт і 300 МВт. Розрахунки виконувались за методикою, наведеною в [7,8]. Побудовані апроксимаційні залежності пито-

мої витрати умовного палива і витрати електроенергії на власні потреби в залежності від відносної потужності ($\bar{N}_e = N_e / N_e^{ном}$).

Для блоків потужністю 200 МВт розрахунки виконувались на підставі аналізу даних щодо зміни параметрів $E_{e,л.н}$ та b_v залежно від відносної потужності блока К-200-130 Старобешівської ТЕС при $N_e = 100 \%, 80 \%, 60 \%$ від $N_e^{ном}$ (табл. 3, рис. 1).

Коефіцієнт відносної витрати електроенергії на власні потреби розраховувався як

$$K_e = E_{вл.н}(N_e) / E_{вл.н}(N_e^{ном}), \quad (1)$$

де $E_{вл.н}(N_e)$ – витрата електричної енергії на власні потреби при частковому навантаженні блока N_e , МВт; $E_{вл.н}(N_e^{ном})$ – витрата електричної енергії на власні потреби при номінальній потужності турбіни $N_e^{ном}$, МВт.

Коефіцієнт питомої витрати умовного палива на виробіток електроенергії:

$$K_b = b_y(N_e) / b_y(N_e^{ном}), \quad (2)$$

де $b_y(N_e)$ – питома витрата умовного палива на виробіток електроенергії при частковому на-

вантаженні блока N_e , МВт; $b_y(N_e^{ном})$ – питома витрата умовного палива на виробіток електроенергії при номінальній потужності $N_e^{ном}$, МВт.

При визначенні показників блоків потужністю 300 МВт на часткових режимах за базу використовувались дані розрахунків, що були виконані для Запорізької та Трипільської ТЕС [7,8] для відносної потужності у 50 %, 80 % та 100 % від номінальної. Результати розрахунків наведено в табл. 4 та на рис. 2.

При розрахунку характеристик енергоблоків ТОВ «ДТЕК Енерго» на частковому навантаженні вважалось, що при пуску з гарячого стану за графіком змінного навантаження у режимі «пуск-зупинка» з нічним простоєм середнє навантаження на блок дорівнює 60 % від середньорічного навантаження блока, яке

Таблиця 3 – Зміна техніко-економічних показників блока К-200-130 Старобешівської ТЕС для навантажень 100 %, 80 %, 60 % від номінальної потужності

№ з/п	Найменування	Позначення	Одиниця виміру	Відносне навантаження, %		
				100	80	60
1	Витрата ел. енергії на власні потреби	$E_{вл.н}$	%	4,688	4,703	4,92
2	Коефіцієнт відносної витрати ел. енергії на власні потреби	K_e	-	1,0	1,003	1,049
3	Питома витрата умовного палива на виробіток ел. енергії	b_y	г/кВт·год	358,7	360,32	378,34
4	Коефіцієнт питомої витрати умовного палива на виробіток ел. енергії	K_b	-	1,0	1,0045	1,0548

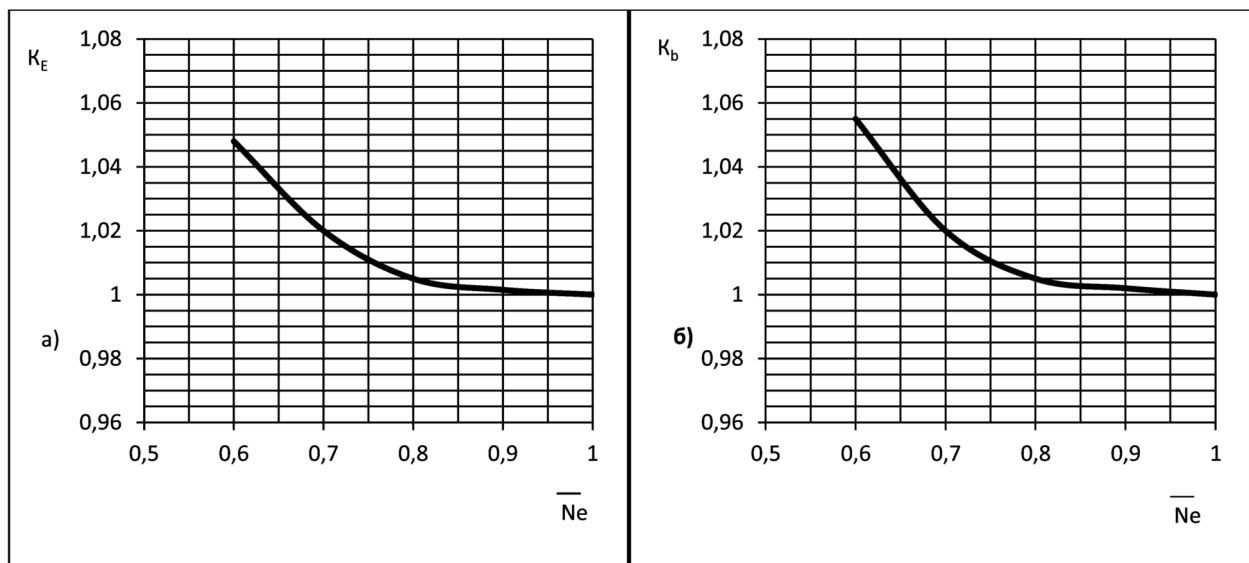
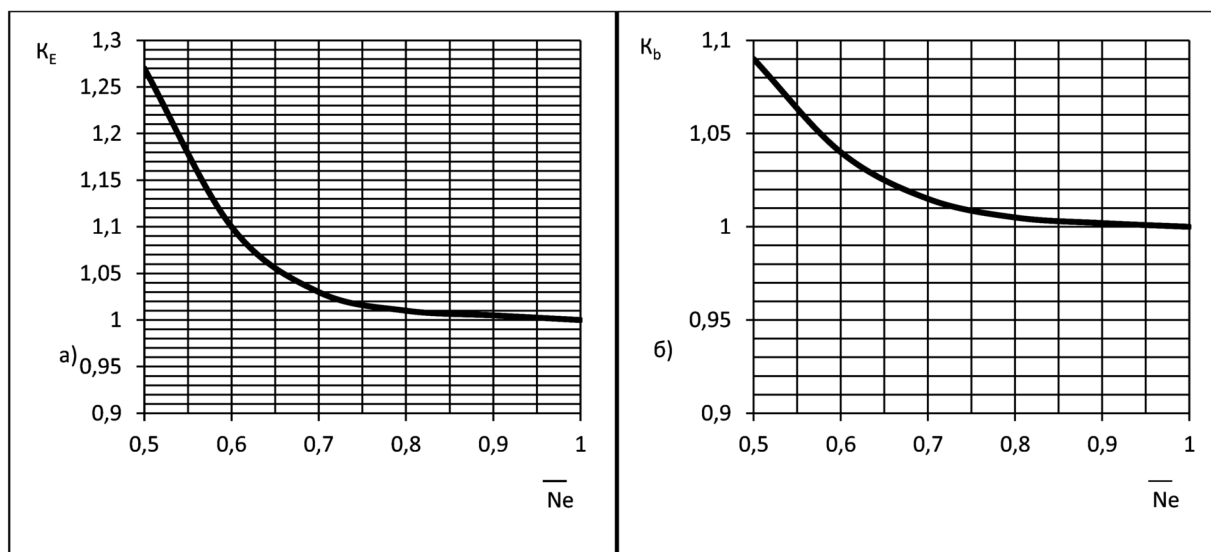


Рис. 1. Залежність відносних величин витрат енергії на власні потреби (а) та питомої витрати умовного палива на виробіток електроенергії (б) від відносної потужності ($\bar{N}_e = N_e / N_e^{ном}$) блока К-200-130 Старобешівської ТЕС

Таблиця 4 – Зміна техніко-економічних показників блоків К-300-240 для навантажень 100 %; 80 %; 50 % від номінальної потужності

№ з/п	Найменування	Позначення	Одиниця виміру	Відносне навантаження, %		
				100	80	50
1	Витрата ел. енергії на власні потреби	$E_{ел.п}$	%	4,276	4,31	5,46
2	Коефіцієнт відносно витрати ел. енергії на власні потреби	K_e	-	1,0	1,008	1,2769
3	Питома витрата умовного палива на виробіток ел. енергії	b_y	г/кВт·год	343,1	345,08	373,89
4	Коефіцієнт питомої витрати умовного палива на виробіток ел. енергії	K_b	-	1,0	1,0056	1,09

Рис. 2. Залежність відносних величин витрат енергії на власні потреби (а) та питомої витрати умовного палива на виробіток електроенергії (б) від відносної потужності ($\bar{N}_e = N_e/N_e^{ном}$) блока К-300-240

наведено в табл. 3,4 і на рис. 1,2. У такому разі коефіцієнти перерахунку мають такі значення:

Для блоків 200 МВт

$$K_e = 1,049; K_b = 1,0548. \quad (3)$$

Для блоків 300 МВт

$$K_e = 1,10; K_b = 1,038. \quad (4)$$

Результати розрахунків техніко-економічних показників для енергоблоків потужністю 200 МВт та 300 МВт електростанцій «ДТЕК Енерго» при зміні навантаження на блок у 60 % наведено на рис. 3, 4.

Основне навантаження від 100,4 МВт до 150 МВт на Придніпровській ТЕС та

Добротворській ТЕС виконували блоки К-150-130. Значення коефіцієнтів перерахунку для цих блоків приймалися на рівні коефіцієнтів для блоків потужністю 200 МВт. Дані для цих станцій також наведені на рис. 3, 4.

Очікувані значення показників блоків у 2016 р., для яких спостерігалось значне погіршення показників у 2015 р. у порівнянні з 2014 р., приймалися із умови, що на станціях в 2016 р. буде виконано комплекс заходів із зменшення впливу факторів, які визвали різке погіршення показників.

Як впливає з отриманих даних, при роботі на часткових режимах показники по питомій витраті умовного палива (рис. 5) і витраті енергії на власні потреби (рис. 6) по деяких станціях «ДТЕК Енерго» погіршуються. При цьому

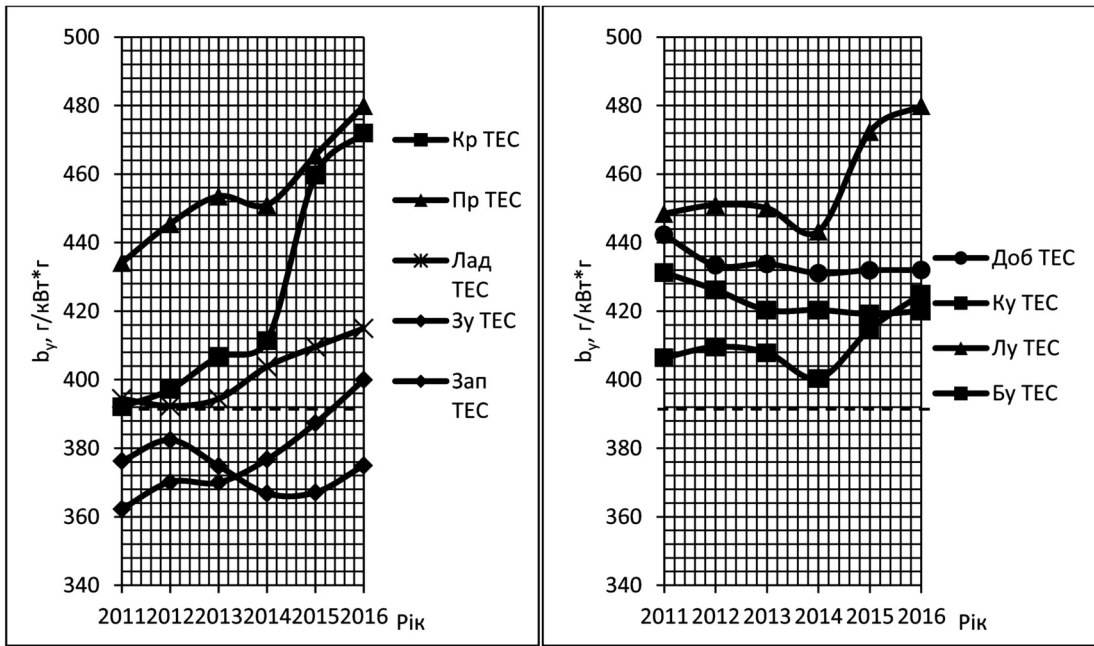


Рис. 3. Питова витрата умовного палива по станціях «ДТЕК Енерго» при навантаженні у 60% від номінального в умовах маневреного режиму «пуск-зупинка» за 2011–2016 рр. (2016 р. – прогноз); пунктир (- - -) – індикативні дані за 2013 р. [6]

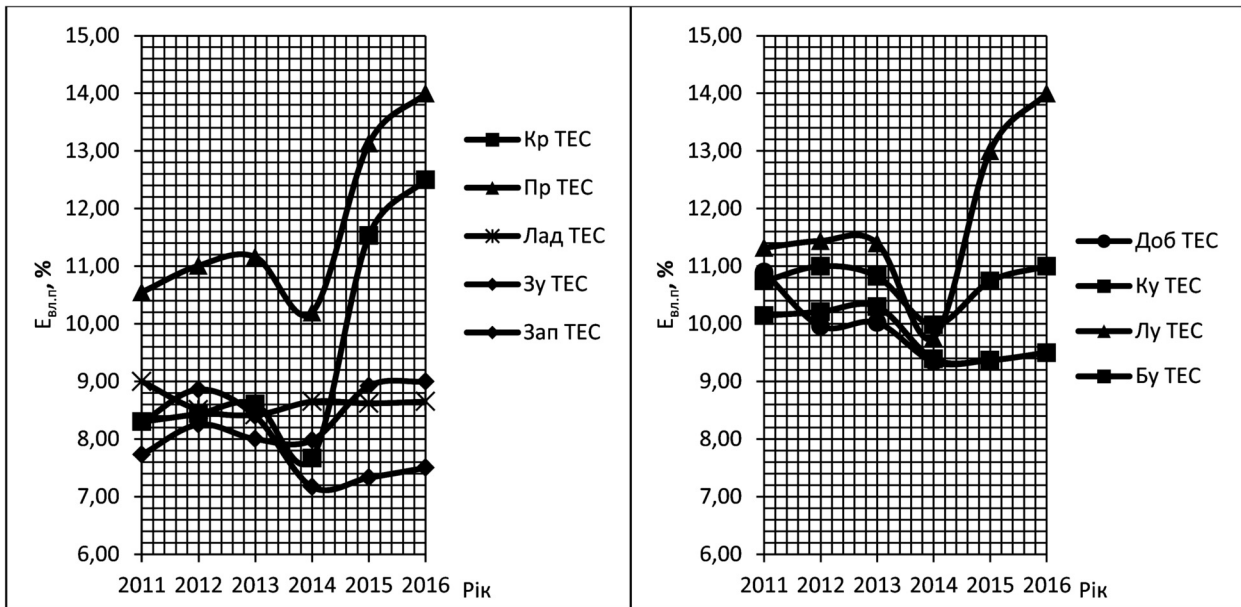


Рис. 4. Витрата електроенергії на власні потреби по станціях «ДТЕК Енерго» при навантаженні у 60% від номінального в умовах маневреного режиму «пуск-зупинка» за 2011–2016 рр. (2016 р. – прогноз)

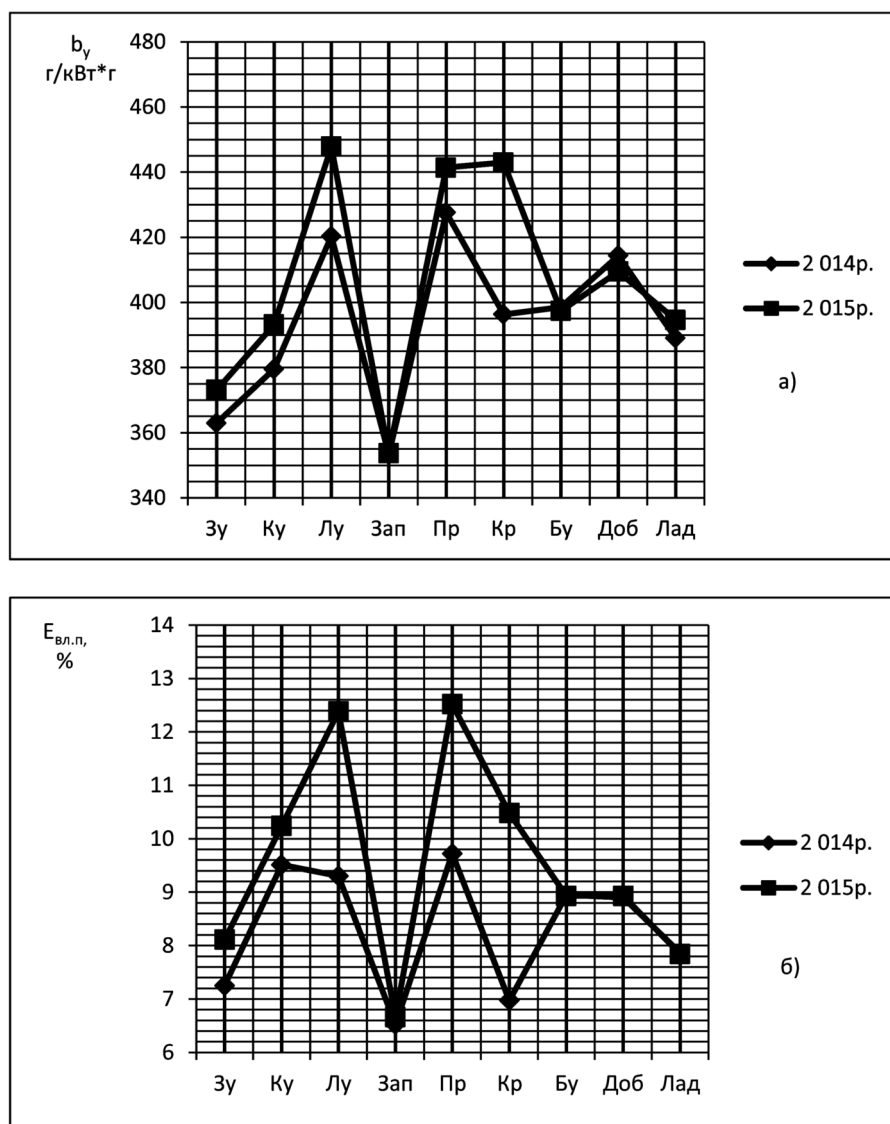


Рис. 5. Техніко-економічні показники блоків «ДТЕК Енерго» по станціях за 2014 – 2015 рр.:
 а – питома витрата умовного палива; б – витрати електроенергії на власні потреби

показники щодо питомої витрати умовного палива у трьох станцій – Запорізької, Бурштинської та Добротворської ТЕС у 2014 – 2015 рр. краще показників цих станцій у 2013 р.

На підставі даних, наведених в табл. 1, 2, було проведено порівняння техніко-економічних показників по окремих станціях за 2014 – 2015 рр. (рис. 5, 6). На рис. 5,а наведено дані щодо питомої витрати умовного палива (b_y), а на рис. 5,б – витрати електроенергії на власні потреби ($E_{вл.п.}$).

Як видно з рис. 5,а, у 2015 р. мінімальні значення (b_y) було досягнуто на Запорізькій ТЕС, $b_y = 353,68$ г/кВт·год. Максимальне значення

відзначено на Луганській ТЕС, $b_y = 447,83$ г/кВт·год, Криворізькій ТЕС, $b_y = 442,92$ г/кВт·год, та Придніпровській ТЕС, $b_y = 441,39$ г/кВт·год. Порівняння даних, отриманих за 2014 р. і 2015 р., показує, що на деяких станціях питома витрата умовного палива збільшилась. Більше всього ця різниця відзначена на Криворізькій ТЕС, яка становила 346,58 г/кВт·год, та на Луганській ТЕС – 27,49 г/кВт·год.

Наведені на рис. 5,б дані щодо витрати електроенергії на власні потреби ($E_{вл.п.}$) показують, що мінімальних витрат досягнуто на Запорізькій ТЕС, $E_{вл.п.} = 6,66\%$, та на

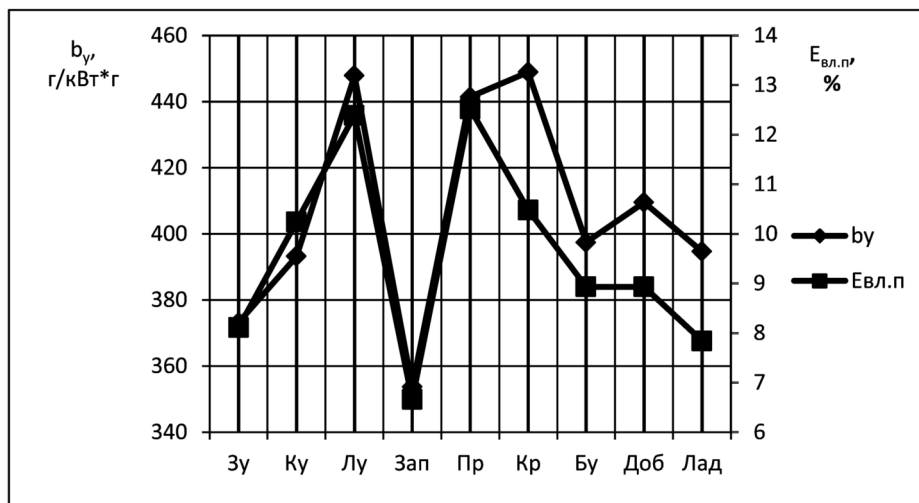


Рис. 6. Порівняння техніко-економічних показників по станціях «ДТЕК Енерго» за 2015 р.

Ладизинській ТЕС, $E_{вл.п} = 7,84 \%$. Максимальне значення величини $E_{вл.п}$ відзначено на Придніпровській ТЕС, $E_{вл.п} = 12,52 \%$, та на Луганській ТЕС, $E_{вл.п} = 12,38 \%$. Збільшення питомої витрати електроенергії за 2014–2015 рр. відзначено на Криворізькій ТЕС, яке дорівнює 3,51 %, Ладизинській ТЕС – 3,24 %, Придніпровській ТЕС – 2,8 %.

На рис. 6 наведено порівняння техніко-економічних показників – (b_y) та ($E_{вл.п}$) по станціях за 2015 р. при 100 % навантаженні.

Як видно з показників порівняльного аналізу, практично для всіх станцій, крім Криворізької ТЕС, дані щодо питомої витрати умовного палива на виробіток електроенергії і витрати електроенергії на власні потреби співвідносяться. Така тенденція свідчить про необхідність подальшого поглибленого порівняльного аналізу складових техніко-економічних показників для конкретних станцій з метою їх покращення.

ВИСНОВКИ

1. Проектні теплові схеми не передбачають роботи енергетичного обладнання у маневрених режимах щоденного «пуску-зупинки».

2. Аналіз техніко-економічних показників свідчить про їх погіршення із збільшенням кількості «пусків-зупинок». Розрахунки питомої витрати умовного палива та витрати електроенергії на власні потреби показали, що ці

техніко-економічні показники збільшуються суттєво у разі змінного навантаження (питома витрата умовного палива на – 9 14 %, витрата електроенергії на власні потреби – на 16 40 %) і це збільшення призведе до зниження економічної ефективності роботи ТЕС у маневрених режимах.

3. Розглянуті показники щодо питомої витрати умовного палива (b_y), та витрати електроенергії на власні потреби ($E_{вл.п}$) у 2015 р. у порівнянні з 2014 р. не змінилися на Запорізькій, Бурштинській, Добротворській та Ладизинській ТЕС, на інших ТЕС вони погіршилися, що, більш за все, пов'язано з роботою енергоблоків у режимах регулювання частоти енергосистеми України.

1. Рыжкин В.Я. Тепловые электрические станции / В.Я. Рыжкин. – М.: Энергия, 1987. – 400 с.

2. Воробьев И.Е., Тодорович Е.Г. Реабилитация ТЭС и ТЭЦ: пути, эффективность / И.Е. Воробьев, Е.Г. Тодорович // Энергетика и электрификация. – 2000. – Вып. 1. – 256 с.

3. Корчевой Ю.П. Стан та перспективи розвитку твердопаливної енергетики України / Під загальною ред. П.Омеляновського, Й. Мисака // Теплова енергетика – нові виклики часу. – Львів: НВФ «Українські технології», 2009. – С. 29–35.

4. *Вольчин І.А.* Перспективи впровадження чистих вугільних технологій в енергетику України / І.А. Вольчин, Н.І. Дунаєвська, Л.С. Гапонич. – ГНОЗІС, 2013. – 308 с.
5. *Черноусенко О.Ю.* Стан енергетики України та результати модернізації енергоблоків ТЕС / О.Ю. Черноусенко // Проблеми загальної енергетики. – 2014. – Вип. 4 (39). – С. 20 – 27.
6. *Енергетична стратегія України на період до 2035 року.* – Київ, 2014. – 23 с. (проект).
7. *Складання енергетичних характеристик устаткування, порядок визначення нормативних питомих витрат та заощадження*

палива на енергопідприємствах. Методичні вказівки. СОУ – Н МПЕ 40.1.09.151: 2005. – К.: ГРІФРЕ, 2005. – 192 с.

8. *Розрахункові* питоми витрати палива на відпущену теплову та електричну енергію на прогнозований період. Методичні вказівки. СОУ – Н МПЕ 40.1.09.111: 2005. – К.: ГРІФРЕ, 2005. – 38 с.

Надійшла до редколегії 05.04.2016