

СИСТЕМНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА КОМПЛЕКСНІ ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГЕТИКИ

УДК 621.311

С.В. ДУБОВСЬКИЙ, д-р техн. наук,
Інститут загальної енергетики НАН України, м. Київ

ПІДВИЩЕННЯ РОБОЧОГО РЕСУРСУ ТЕС З ВИКОРИСТАННЯМ СИСТЕМНИХ ЕЛЕКТРОТЕПЛОВИХ СПОЖИВАЧІВ-РЕГУЛЯТОРІВ

Виконано аналіз можливостей підвищення робочого ресурсу енергоблоків теплових електростанцій шляхом поліпшення режимів електричних навантажень за рахунок системних електротеплових споживачів-регуляторів, включених у контури технологічного управління енергетичної системи.

Ключові слова: енергоблок, циклічний режим, подовження ресурсу, споживачі-регулятори.

Реалізація існуючих планів розвитку теплової енергетики України на перспективу до 2020 року передбачає, зокрема, масштабне оновлення встановленого енергетичного обладнання пилувугільних енергоблоків ТЕС з метою подовження терміну їх служби, підвищення маневреності, надійності, економічності та екологічної чистоти. Виконання таких завдань передбачає, насамперед, заміну найбільш зношених елементів та одиниць енергетичного обладнання на основі ретельної діагностики їх стану, встановлення нових природоохоронних заходів, засобів автоматичного керування та технологічного контролю. Однак одних цих заходів може бути недостатньо з огляду на те, що нові і реконструйовані енергоблоки будуть продовжувати експлуатуватися у існуючих сьогодні несприятливих режимах, що мають тенденцію до погіршення. У зв'язку з цим, поряд із проведенням масштабної реконструкції генеруючого обладнання, все більш необхідним стає впровадження системних заходів з нормалізації умов експлуатації ТЕС.

Це стає можливим за рахунок перенесення частини функцій ТЕС з регулювання змінних навантажень на споживачів електричної енергії, що мають змогу змінювати свою потужність за відповідними командами диспетчерських

центрів енергетичної системи. У даній роботі розглядаються питання, що стосуються створення відповідних системних споживачів-регуляторів і оцінки впливу їх дії з ущільнення графіків електричних навантажень енергосистеми на підвищення ресурсу роботи енергоблоків ТЕС на прикладі об'єднаної енергетичної системи України.

Поточний стан енергоблоків ТЕС з проектною потужністю 150–800 МВт, які складають основу генеруючих потужностей об'єднаної енергетичної системи України, характеризується значною фізичною застарілістю. Станом на 01.01.2010 року всі вони відпрацювали проектний ресурс (100 тис. год) і, за виключенням 4 вугільних блоків 300 МВт Зуєвської ТЕС, 2 газомазутних блоків 300 МВт Трипільської ТЕС і 6 газомазутних блоків 800 МВт Запорізької ТЕС і Вуглегірської ТЕС, також парковий ресурс (табл. 1).

Незважаючи на це, стан міцності металу найбільш важливих вузлів дозволяє подовжити термін експлуатації більшості енергоблоків з призначенням певного індивідуального ресурсу, що залежить від технічного стану і умов експлуатації кожного з них.

Техніко-економічні оцінки та зарубіжний досвід показують, що подовження ресурсу встановленого обладнання є загалом більш вигідним, ніж передчасне введення нових енергобло-

Таблиця 1 – Фактичне напрацювання енергоблоків ТЕС ОЕС України станом на 01.01.2011 р. у порівнянні з парковим ресурсом

Енергоблоки	Парковий ресурс	Припустима кількість	Фактичне напрацювання, тис. год	
	тис. год	пусків	мінімум	максимум
К-160-130	200	600	293	313
К-200-130	220	600	250	305
К-300-240	170	450	205	269
К-300-240 ЗуТЕС	170	450	135	166
К-800-240	100	300	255	255
К-300-240 ГМ	170	450	172	176
К-800-240 ГМ	100	300	126	149

Примітка: ГМ – газомазутний енергоблок, інші блоки – пилувугільні.

ків. Однак цей висновок може не спрацювати через погіршення умов експлуатації.

У часи проектування і початкової експлуатації енергоблоків ТЕС потужністю 150–800 МВт, розрахованих на робочі тиски 12,8 МПа та 23,5 МПа, вважалося, що основним фактором, що обмежуватиме ресурс їх роботи є статична міцність металу високотемпературних вузлів (повзучість).

Однак у результаті узагальнення досвіду експлуатації встановлених енергоблоків було встановлено, що їх ресурс зумовлюється і іншим важливим механізмом деградації металу ТЕС – так званою малоцикловою втомою [1–3]. Малоциклова втома металу високотемпературних та високонапружених вузлів енергоблоків спричиняють різкі зміни температурних градієнтів під час пусків, набирань та скидів навантаження енергоблока. Вони викликають термопружні деформації металу, що накопичуються. З часом це призводить до виникнення та розвитку тріщин у металі ротора, які можуть призвести до його крихкого руйнування з тяжкими наслідками.

Основними причинами різких змін потужності енергоблоків в процесі експлуатації, а отже і розвитку малоциклової втоми, є їх залучення до регулювання змінних навантажень енергетичної системи. При цьому найбільший вплив на скорочення ресурсу (у порядку значення) спричиняють пуски з холодного, неостиглого та гарячого станів.

У зв'язку з цим, наприкінці 70-х років минулого століття було введено нормативні обме-

ження на припустиму кількість пусків енергоблоків (вони вказані у табл. 1), додержання яких дозволяло б експлуатувати їх протягом подовженого, так званого паркового ресурсу під дією як повзучості, так і малоциклової втоми. Поряд із цим, помітну небезпеку являють і режими швидкого набирання навантажень, темпи яких також обмежуються.

Згідно з існуючими даними, кожний пуск енергоблока призводить до зниження статичного робочого ресурсу на 50–150 год [4]. При цьому використання енергоблоків у режимах частих нічних зупинок (так звані циклічні режими) із зростанням річної кількості пусків від 4–6 до 100–200 призводить до скорочення ресурсу на 60–90 % [4]. Поряд із цим, зростання кількості пусків викликає також зростання кількості аварійних відмов енергоблоків. Такі відмови, у свою чергу, збільшують кількість пусків блока з холодного та неостиглого станів після аварійного ремонту. У зв'язку з цим, використання енергоблоків в циклічному режимі викликає квадратичне зростання відмов у часі [4].

Поряд із погіршенням експлуатаційних показників, використання ТЕС у циклічних режимах спричиняє і значні втрати економічності, оскільки кожний пуск енергоблока потужністю 200 МВт чи 300 МВт дається ціною витрати кількох десятків тонн високореакційного пускового палива. Не сприяють такі режими і роботі природоохоронного обладнання ТЕС (нові електрофільтри, установки сірко- та азотоочищення тощо).

В останні роки, у зв'язку з виявленою доцільністю подовження подальшої експлуатації встановлених енергоблоків за межами паркового ресурсу за рахунок, переважно, маловитратної реконструкції із заміною найбільш вражених вузлів, постали питання щодо визначення можливих термінів експлуатації енергоблоків (їх індивідуальних ресурсів) до проведення реконструкції і після неї.

Індивідуальний ресурс енергоблоків може бути збільшеним за рахунок науково обґрунтованої технічної політики на базі моніторингу напруженого стану основних вузлів ТЕС із своєчасною їх заміною у ході повузлової або комплексної реконструкції по мірі досягнення критичних напрацювань, впровадження режимних методів попередження критичних деформацій тощо.

За оцінками вітчизняних фахівців, заснованих на аналізі залишкової статичної міцності, зумовленою повзучістю металу високотемпературних вузлів, загальний ресурс роботи найбільш застарілих енергоблоків потужністю 200 МВт може бути збільшеним до 370 тис. год, або у 1,5 раза порівняно з парковим ресурсом. Такі ж кратності подовження паркового ресурсу надаються і для енергоблоків 300 МВт [5–7].

Досягнення зазначених індивідуальних ресурсів передбачає обережну експлуатацію енергоблоків, яка б зводила до мінімуму дію факторів малоциклової втоми. Однак досягти цього на практиці досить складно.

Аналіз роботи ТЕС ОЕС України в останні десятиріччя вказує на невпинне зростання випадків циклічного використання енергоблоків ТЕС за умов підтримки змінних наванта-

жень енергетичної системи. І ця тенденція погрожує подальшим підсиленням.

Істотне погіршення умов використання ТЕС історично виникло через загальне зниження попиту на електричну енергію з боку промислових споживачів у 90-ті роки минулого століття. Це спричинило не тільки відповідне зниження виробництва, але й зростання його добової і сезонної нерівномірності. Після введення у 2005 р. двох атомних енергоблоків на Хмельницькій та Рівненській АЕС (рис. 1) ситуація стала більш гіршою внаслідок витіснення ними ТЕС з базової частини графіка електричних навантажень. Внаслідок цього необхідний діапазон змін навантажень ТЕС зріс до 26–30 % від максимуму добових навантажень проти 19–20 % у 2000–2004 рр. (рис. 1).

Між тим, зростання необхідного діапазону покриття змінних навантажень супроводжувалося несприятливими змінами наявного регульовального діапазону ТЕС. Він у ці роки скорочувався внаслідок обмежень на максимальну потужність через фізичне старіння вугільних енергоблоків, на використання природного газу і мазуту для підсвічування факела у режимах глибокого розвантаження та через припинення використання газомазутних енергоблоків 300–800 МВт та теплофікаційних блоків 250/300 МВт у змінних режимах внаслідок подорожчання природного газу і мазуту.

Отже, підтримка змінних навантажень ОЕС України дається в останні роки ціною переведення частини енергоблоків ТЕС 200 МВт на режими нічних зупинок і дубль блоків 300 МВт – на режими відключення корпусів котлів (у подальшому – циклічні режими).

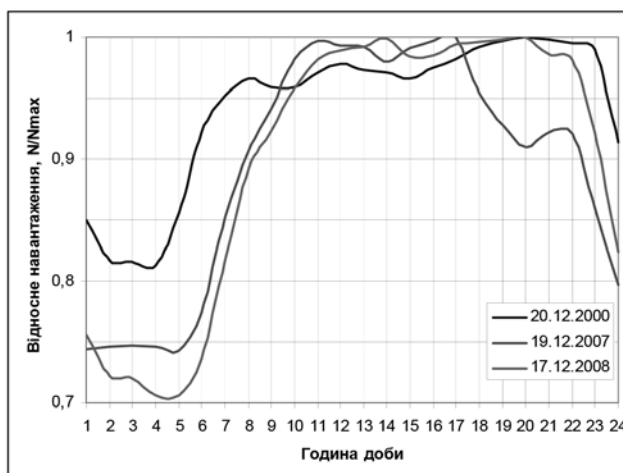
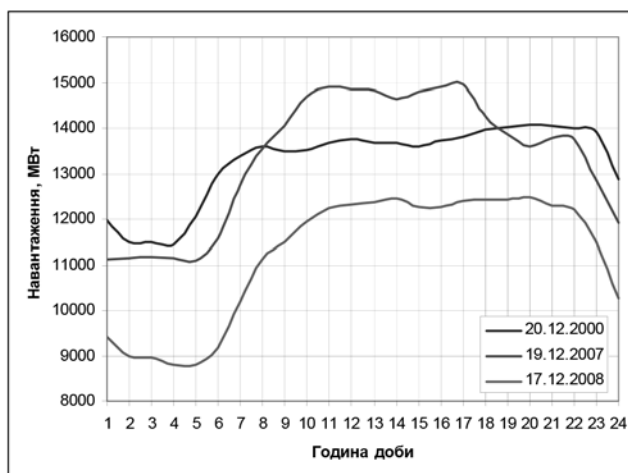


Рис. 1. Зміни добових графіків навантаження ТЕС ОЕС України у 2000–2008 рр.

За даними Міністерства енергетики та вугільної промисловості України, у 2003 р. до пуску Р-2 та Х-4, кількість нічних зупинок/пусків енергоблоків та корпусів котлів становила 1666, а після 2005 року вона зростає до 3500–3600 на рік.

На полегшення ситуації з циклічним використанням енергоблоків ТЕС розраховувати не слід. Згідно з існуючими прогнозами Оновленої енергетичної стратегії України до 2030 року, економіка України буде розвиватися надалі на засадах випереджаючого розвитку сфери послуг, частка якої у формуванні ВВП країни має збільшитися до 70 % і більше. При цьому частка АЕС в структурі генеруючих потужностей збережеться на існуючому рівні, а частка ВДЕ на основі вітрових і сонячних електростанцій та малих ГЕС значно зростає. Це, безумовно, призведе до подальшого загострення добових ГЕН та відповідного погіршення режимів використання ТЕС.

У зв'язку з цим, задля збереження ресурсу як існуючого обладнання, так і того, що буде вво-

дитися у енергетичну систему надалі внаслідок реконструкції та нового будівництва, необхідно вживати адекватні заходи для забезпечення прийнятних динамічних режимів роботи енергоблоків шляхом впровадження тих чи інших засобів керування добовим навантаженням ТЕС на рівні ОЕС України та її регіональних систем.

Одним з перспективних напрямів вирішення цієї задачі є створення спеціалізованої групи споживачів-регуляторів для виконання функції регулювання навантажень ТЕС під диспетчерським керуванням з боку ОЕС та її регіональних центрів [8,9]. Основу цієї групи мають скласти електротеплові споживачі-регулятори (ЕТСР).

Техніко-економічний аналіз показує, що ЕТСР найбільш раціонально встановлювати на потужних котельнях і ТЕЦ систем централізованого тепlopостачання (СЦТ), де існує необхідна інфраструктура електричних та теплових мереж і технологічного зв'язку. Їх робота має здійснюватися погоджено з роботою встановленого тепло-

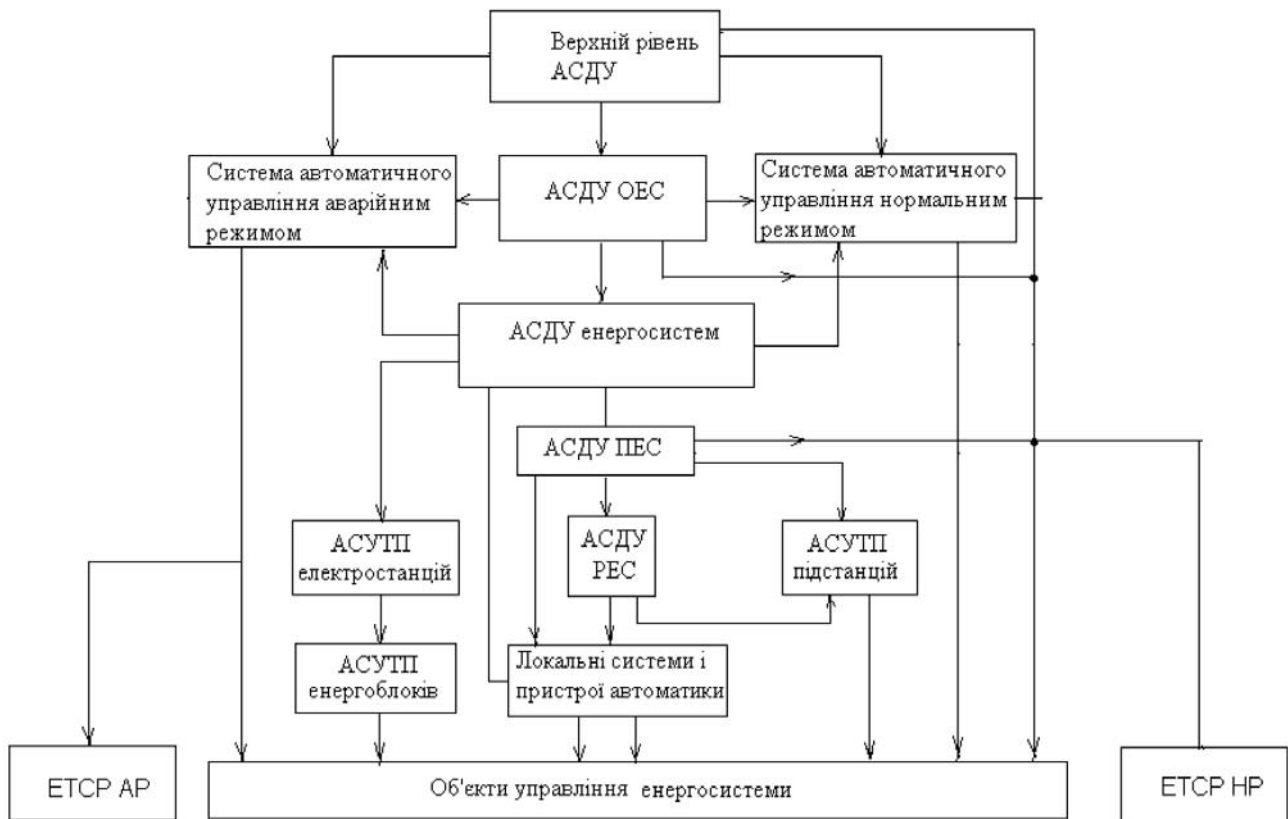


Рис. 2. Спрощена схема автоматичної системи диспетчерського управління енергетичною системою, доповнена ЕТСР

генеруючого обладнання – водогрійних котлів, парових турбін ТЕЦ і районних котельень. При цьому на існуюче обладнання СЦТ покладаються функції регулювання теплових навантажень та резервування.

Найбільш ефективним є використання ЕТСП на базі потужних теплових насосів, які окрім регулювання дозволяють підвищити паливну економічність теплоджерел СЦТ за рахунок утилізації їх теплових втрат [10,11].

Установки ЕТСП доцільно поділити на 3 функціональні групи – поставарійного управління частотою і перетіканням потужності (ЕТСП АР), нормального регулювання потужності (ЕТСП НР) і тарифного регулювання (ЕТСП ТР).

Кваліфіковане виконання функцій ущільнення ГЕН цілком покладається на ЕТСП НР, що підлягають технологічному керуванню з боку енергосистеми, а ЕТСП ТР використовуються власниками на свій розсуд.

Диспетчерське керування роботою ЕТСП НР на першому етапі їх впровадження має здійснюватися за командами центральних та регіональних диспетчерських центрів у тому ж порядку, що і ТЕС. У подальшому в міру розвитку автоматичної системи диспетчерського управління (АСДУ), що створюється в ОЕС України [12], ЕТСП НР та ЕТСП АР мають включатися у відповідні контури цієї системи так само, як і системи АСУ ТП енергоблоків ТЕС і ГЕС (рис. 2).

Використання електротермічних споживачів-регуляторів для ущільнення ГЕН забезпечить підтримку нічних електричних навантажень енергосистеми на рівні, що перевищує сумарний технологічний мінімум потужності всіх її електричних станцій і підтримку денних навантажень на рівні, що не перевищує технологічний максимум потужності електростанцій.

Гранична потужність ЕТСП НР оцінюється сьогодні у 3,8 ГВт з тенденцією до зростання. Вона визначається розрахунком, виходячи з умови забезпечення повного вирівнювання добових графіків електричних навантажень (ГЕН) ТЕС енергосистеми у добу осінньо-зимового максимуму (ОЗМ) електричних навантажень, як це ілюструється на рис. 3, а та 3, б.

Розрахункові навантаження ЕТСП за годинами доби ОЗМ, що забезпечують максимальне вирівнювання графіків роботи ТЕС із повним виключенням випадків їх циклічного

використання та швидкого навантаження, наведено на рис. 3, в.

Проведені у роботі розрахунки електричних і теплових навантажень ЕТСП впродовж календарного року у порівнянні з графіком фактичних теплових навантажень СЦТ України впродовж року свідчать про достатність теплопродуктивності СЦТ для прийняття теплоти, що генерується ЕТСП АР та НР (рис. 3, г).

Мінімально необхідна потужність ЕТСП НР визначається з умови припинення циклічних режимів використання ТЕС. При цьому приймається до уваги як необхідний рівень нічного навантаження ЕТСП, так і фактор зростання регулюючого діапазону ТЕС на величину обертового резерву, що заміщується ЕТСП АР [13].

Її рівень, визначений на підставі аналізу фактичних ГЕН ТЕС, оцінюється у 1400–2000 МВт для ЕТСП НР і 350–400 МВт для ЕТСП АР з тенденцією до зростання у подальші роки.

Позитивний вплив ЕТСП на збільшення ресурсу і підвищення надійності ТЕС спричиняє, головним чином, зниження річного циклічного пошкодження енергоблоків 200 МВт, що працюють у режимах нічних зупинок.

Оцінки впливу роботи ЕТСП на зростання залишкового ресурсу енергоблоків 200 МВт провадилися згідно з нормативною методикою [14]. Необхідні вихідні дані приймалися за результатами обстежень статичних і динамічних пошкоджень металу вузлів енергоблоків ОЕС України з турбоустановками К-200-130 ЛМЗ, наведеними у [5–7].

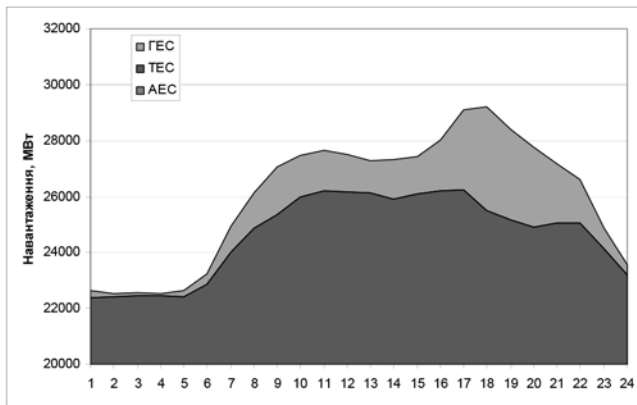
Розрахункові оцінки провадилися шляхом порівняння залишкових ресурсів (без врахування коефіцієнтів запасу по малоцикловій міцності енергоблоків при роботі в умовах циклічних навантажень і при роботі в умовах їх поступового припинення внаслідок ущільнення ГЕН по мірі впровадження потужностей ЕТСП. Аналіз провадився стосовно існуючих енергоблоків, що працюють за межами паркового ресурсу та нових енергоблоків, за які умовно приймалися також існуючі енергоблоки, що пройшли комплексну витратну реконструкцію із повною заміною високотемпературних вузлів.

Результати оцінок наведено у табл. 2 залежно від ступеня впровадження ЕТСП у енергетичній системі.

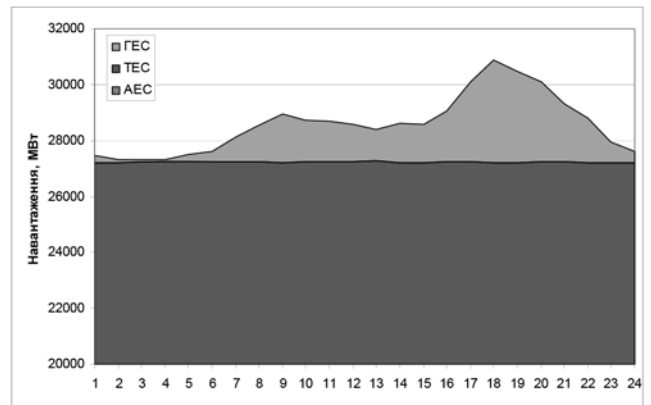
Розрахунки граничного залишкового ресурсу для енергоблоків К-200-130, що працюють за

Таблиця 2 – Залишковий ресурс енергоблоків у залежності від оснащеності ОЕС України ЕТСП

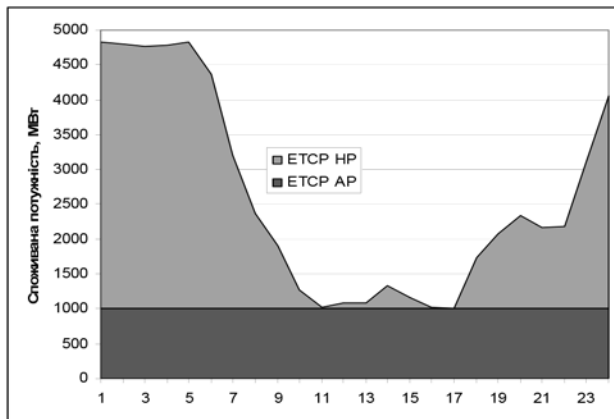
Оснащеність, %	0	25	50	75	100
Нові енергоблоки, тис. год (років)	232	250	272	299	330
	(35)	(38)	(41)	(45)	(50)
Енергоблок з напрацюванням за межами паркового ресурсу (246,9 тис. год), тис. год (років)	65	70	80	84	92



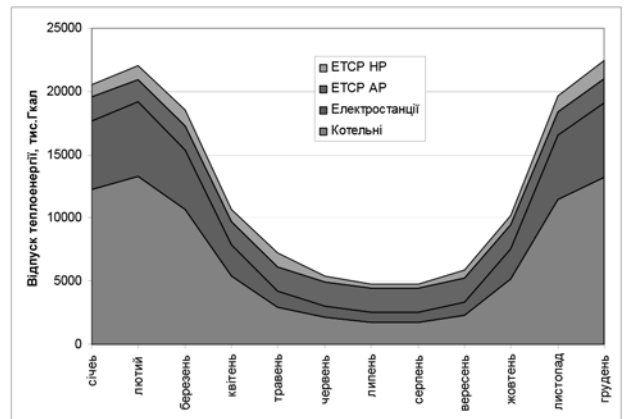
А



Б



В



Г

Рис. 3. Ущільнення графіків електричних навантажень з використанням електротеплових споживачів-регуляторів: А – вихідний добовий ГЕН ТЕС, Б – добовий ГЕН ТЕС після вирівнювання, В – добовий графік навантаження ЕТСП, Г – сезонний графік виробництва теплової енергії ЕТСП порівняно з іншими теплоджерелами систем централізованого теплопостачання

межами паркового ресурсу, як і нових енергоблоків у залежності від річної кількості пусків з неостиглого стану (НС-2) (табл. 1) виконано за методикою [5].

З наведених даних можна зробити висновок, що повномасштабне використання ЕТСП НР дозволяє підвищити залишковий термін служби енергоблоків на 30–40 % за рахунок послаблення факторів динамічної пошкодженості металу.

Окрім цього, ЕТСП на основі теплових насосів забезпечать суттєву економію органічного палива і зменшення викидів шкідливих і парникових газів при їх встановленні у системах централізованого теплопостачання. При цьому економічний ефект від зниження вартості виробництва теплової енергії та зниження парникових викидів забезпечує їх швидку окупність [10,11].

1. Менсон С. Температурные напряжения и малоцикловая усталость. — М.: «Машиностроение», 1974. — 344 с.
2. Израилев Ю.Л., Плоткин Е.Р., Степанов Ю.В. Долговечность роторов турбины, работающей в условиях глубокого регулирования нагрузки // Теплоэнергетика. — 1976. — №5. — С. 26–29.
3. Махутов Н.А. Образование и развитие трещин малоциклового разрушения при повышенных температурах: Материалы Всесоюзного симпозиума по малоцикловой усталости при повышенных температурах. — Челябинск, 1974. — Вып. 2. — С. 71.
4. Lefton S. A., Besuner P. M., Grimsrud G.P. Understand what it really costs to cycle fossil-fired units // Power. — 1997. — 141(2). — p. 41–44.
5. Черноусенко О.Ю. Комплексный подход оценки остаточного ресурса высокотемпературных элементов паровых турбин, отработавших парковый ресурс // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». — 2010. — №2. — С. 59–64.
6. Черноусенко О.Ю. Управление остаточным ресурсом элементов паровой турбины К-200-130 ЛМЗ// Энергетика та електрифікація. — 2008. — №3. — С. 22–29.
7. Черноусенко О.Ю., Штефан Е.В., Рындюк Д.И., Третьяк Д.И. Оценка мало-

цикловой усталости паровой турбины К-200-130 с применением программного комплекса Ansys и Cosmos // Энергетика та електрифікація. — 2009. — №3. — С. 42 – 48.

8. Дубовський С.В. Громадські слухання «Щодо Концепції Державної цільової програми інтеграції Об'єднаної енергетичної системи України до об'єднання енергосистем європейських держав». Пропозиції // Энергетика та електрифікація. — 2010. — №27. — С. 55–56.

9. Дубовський С.В., Ільяшенко А.П. Акумулявання енергії у високотехнологічних інтелектуальних енергосистемах // Новини енергетики. — 2012. — №24. — С. 34–39.

10. Дубовський С.В., Хортова О.О. Нові методи оцінки та напрями реалізації резервів зниження енергоємності виробництва електричної і теплової енергії тепловими електричними станціями: Доповідь на науковому семінарі Секції 7 ІЗЕ НАН України.

11. Хортова О.О. Термодинамические основы повышения эффективности работы теплоэлектроцентралей // Энерготехнологии и ресурсосбережение. — 2011. — №3. — С. 22–27.

12. Данильчук В.Н., Коломоец Е.А. Новые технические аргументы необходимости реформирования системы АЧР энергосистемы // Энергетика та електрифікація. — 2009. — №10. — С. 40–47.

13. Дубовський С.В., Григор'єв Р.В., Бабін М.Є. Методичні особливості оптимізації складу регулюючих енергоблоків ТЕС з обмеженими динамічними властивостями з урахуванням їх взаємодії із системними споживачами-регуляторами // Проблеми загальної енергетики. — 2012. — №1 (29). — С. 15–23.

14. СО 153-34.17.440–2003. Инструкция по продлению срока эксплуатации паровых турбин сверх паркового ресурса. — М.: ОАО «НТЦ «Промышленная безопасность», 2008.

Надійшла до редколегії: 18.10.2012