

УДК 621.311.22

doi: 10.20998/2078-774X.2016.10.01

**О. Ю. ЧЕРНОУСЕНКО, В. А. ПЕШКО****ВПЛИВ РОБОТИ ЕНЕРГОБЛОКІВ ТЕС В МАНЕВРЕНОМУ РЕЖИМІ  
НА ВИЧЕРПАННЯ РЕСУРСУ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ**

**АНОТАЦІЯ** Для енергетики України характерною є недостатня кількість маневрених потужностей, тому ОЕС України вимушена залучати пилувугільні блоки, спроектовані для базової роботи, у покриття пікових навантажень та регулюванні в цілому. Проаналізовано сучасний стан енергогенеруючого обладнання України. Досліджено вплив роботи енергоблоків 200–300 МВт у маневреному режимі та розраховано прогнозований залишковий ресурс у режимі нормальної експлуатації та щоденного пуску-зупинки. Розраховано показники швидкості вичерпання ресурсу обладнання і вказано, що в маневреному режимі швидкість старіння обладнання виростає у 3–8 разів. Саме тому, відповідно до поточного стану обладнання, робота у маневреному режимі є не бажаною і потребує розробки спеціальної нормативної бази, оскільки значно зношує наявні основні фонди.

**Ключові слова:** теплові електростанції, енергоблок, Об'єднана Енергетична Система України, пошкоджуваність, залишковий ресурс, прогнозування.

**О. CHERNOUSENKO, V. PESHKO****INFLUENCE OF THE OPERATION OF THE POWER UNITS OF THERMAL POWER  
PLANTS IN THE MANEUVERING MODE ON THE AGING RATE OF POWER EQUIPMENT**

**ABSTRACT** A peculiar feature of the power engineering in Ukraine is a shortage of maneuvering powers; therefore the Nuclear Power Plants available in Ukraine have to use pulverized-coal blocks designed for the basic operation to meet peak loads and for the control on the whole. The current state of power generating equipment was analyzed in compliance with the normative documents approved by the Ministry of Power Engineering and Fuel Industry of Ukraine. The influence of the operation of power units of 200–300 MW in the maneuvering mode has been studied and the predicted residual life in the normal operation mode and in the maneuvering mode of daily start-stop has been calculated. The ageing rate indicators have been calculated and it was established that the equipment aging rate in the maneuvering mode increases three to eight times in comparison with that at the normal operation. It was established that the operation in this mode requires the normative substantiation: the key parameters and criteria of operating conditions should be defined, the software for the technical diagnostics should be introduced, and the additional control (examination) of the technical state of power equipment should be arranged and exercised and the obtained results must be processed. The measures should be taken to provide the safe operation and exercise control over the aging of power plants during the reassigned operation life. Due to this fact and taking into consideration the current state of the equipment the operation in the maneuvering mode is undesirable and requires the development of special normative base, because the available key assets are subjected to a considerable wear.

**Key words:** thermal power plants, power unit, Consolidated Power System (CPS) of Ukraine, failure, residual life, and the prediction.

**Вступ**

Для забезпечення стабільної роботи електричних станцій в структурі генеруючих потужностей базові енергоблоки повинні складати (50–55) %, напівпікові енергоблоки – (30–35) %, а пікові енергоблоки – 15 %. Потужності гідроелектростанцій (ГЕС) і гідроакмулюючих станцій (ГАЕС), які можуть бути високоманевровими піковими потужностями, складають лише 10,1 % проти 15 % необхідних для сталої роботи енергосистеми. Енергоблоки ТЕС потужністю 100–150 МВт, які можуть ефективно використовуватись як маневрові напівпікові потужності, складають 18 % проти необхідних 30–35 %. Поширеною практикою є використання в маневрових напівпікових режимах, окрім пилувугільних енергоблоків теплових електростанцій (ТЕС) потужністю 100 та 150 МВт, пилувугільних блоків потужністю 200–300 МВт, які для цього не пристосовані. Вони проєктувалися для роботи в базових режимах. З аналізу технічних рішень заводів виробників енергети-

чного обладнання та рішень проєктних організацій по пускових схемах блоків від 150 до 300 МВт зрозуміло, що при проєктуванні енергоблоків 200–300 МВт не ставилось задачі реалізації режимів пуск-зупинка щоденно.

**Ціль роботи**

Оцінити вплив роботи котельного та турбінного обладнання енергоблоків потужністю 200–300 МВт у маневреному режимі на ресурсні показники ТЕС, такі як статична та циклічна пошкоджуваність, залишковий ресурс, щорічна швидкість вичерпання ресурсу.

**Аналіз стану питання**

Маневрений режим роботи (пуск-зупинка) суттєво впливає на роботу корпусів котлів та турбін, які є одним з аварійно небезпечних елементів ТЕС. Так, наприклад, для Криворізької ТЕС за 2014 рік кількість пусків складала 149, що для енер-

гоблків надкритичного тиску недопустимо виходячи з наявності в них товстостінних елементів та особливостей їх прогріву на не розрахункових режимах роботи.

Згідно нормативних документів Мінпаливенерго України [1] парковий ресурс парових турбін К-200-130 і К-300-240 ПАТ ЛМЗ дорівнює 220 тис. год. при кількості пусків 800; парковий ресурс парових турбін К-800-240 ПАТ ЛМЗ дорівнює 150 тис. год. при кількості пусків 400; парковий ресурс парових турбін К-300-240 ПАТ «Турбоатом» дорівнює 200 тис. год. при кількості пусків 600; парковий ресурс парових турбін Т-250/300-240 ПАТ «Турбоатом» дорівнює 220 тис. год. при кількості пусків 800.

Станом на 01.10.2015 року з 57 блоків ТЕС України ТОВ «ДТЕК Енерго» 4 енергоблоки відпрацювали розрахунковий ресурс 100 тис. год.; 38 енергоблоків перевищили парковий ресурс 200–220 тис. год., 15 енергоблоків перевищили подовжений індивідуальний ресурс 300 тис. год. Для подовження терміну їх експлуатації необхідно проводити комплексне дослідження з оцінки залишкового ресурсу. Експертний висновок про подовження терміну експлуатації понад парковий ресурс для кожного енергоблоку необхідно приймати експертній комісії у складі представників підприємств, що генерують електричну енергію, спеціалізованих організацій та органів державного нагляду. До участі в регулюванні частоти електричного струму в енергосистемі можуть залучатися 4 енергоблоки без суттєвих зауважень, але з повним розумінням того, що індивідуальний ресурс цих блоків може знизитися у разі.

#### **Дослідження впливу роботи енергоблоків Кураховської ТЕС в маневреному режимі (пуск-зупинка) на швидкість вичерпання ресурсу енергетичного обладнання**

При аналізі впливу режимів щоденних пусків-зупинок на надійність роботи, аварійність та швидкість вичерпання ресурсу вузлів та деталей (турбіни та котли) використані дані по кількості пусків з різних теплових станів (гарячого – ГС (расшифровать), неостиглого – НС-2 та НС-1, холодного – ХС).

Парові турбіни К-200-130 Кураховської ТЕС були введені в експлуатацію протягом 1972–1975 років. Повної статистики пусків турбін з різних теплових станів станція не має. Тому розрахункове число пусків визначалося згідно відсотковому співвідношенню різних типів пусків за період з 01.02.1993 р. до 01.02.2006 р. За цей період, кількість пусків блоку № 5 парової турбіни К-200-130-3 з різних теплових станів складало: 366 пусків після 6–10 годин простою, 60 пусків після 15–20 годин простою, 59 пусків після 30-35 годин простою, 64 пуску після 50–60 годин простою, 151

пуск з холодного стану.

При цьому пуски після 6–10 годин простою прирівнювалося до пусків з неостиглого стану 2 (НС-2), пуски після 15–20 і 30–35 годин простою названі пусками з неостиглого стану 1 (НС-1), а пуски після 50–60 годин простою прирівнювалися до пусків з холодного стану (ХС). Для турбоагрегату № 3 КуТЕС відомі дані для 439 пусків, що становить 42 % від їхньої загальної кількості. Використовуючи наявні дані, решту пусків було згруповано за видами, близьким до НС-2 (383 пуски, 37 %), НС-1 (166 пусків, 16 %) і ХС (487 пусків, 47 %). Аналогічні дані є по всім іншим блокам Кураховської ТЕС ТОВ «Східенерго».

Розрахункові дослідження напружено-деформованого стану роторів турбоустановки К-200-130 проведені найбільш характерних в практиці експлуатації ТЕС режимів роботи. Температура пари і тиск, а також електричні навантаження взяті з діаграм, наданих цехом наладки КуТЕС і приблизно відповідають обраним режимам. Графіки зазначених пусків взяті окремо для циліндрів високого та середнього тиску (ЦВТ і ЦСТ).

Одним з найбільш відповідальних етапів при розрахунку довговічності деталей проектного енергетичного обладнання, що працює в умовах численних перехідних режимів, є вибір коефіцієнтів запасу. У тих випадках, коли за результатами розрахункової оцінки циклічної міцності елемента турбіни прийняті завищені запаси міцності, може бути проведена оцінка запасів міцності за результатами випробувань металу високотемпературних елементів. Результати експериментального дослідження малоциклової втомлюваності металу ротора і корпусу парової турбіни К-200-130, що відпрацювали свій парковий ресурс 220000 годин, дозволили задати в розрахунках коефіцієнти запасу міцності по числу циклів на рівні  $n_N = 3$  і коефіцієнти запасу по приведеній деформації на рівні  $n_e = 1,25$  [2].

Дані за період з 2012 по 2015 роки по блокам КуТЕС (напрацювання, загальна кількість пусків, дата вводу в експлуатацію та ін.) приведені в табл. 1. Розрахунки сумарної прогнозованої та наявної пошкоджуваності (статичної, циклічної), залишкового ресурсу при нормальній експлуатації, швидкості вичерпання ресурсу при нормальній експлуатації, прогнозованої пошкоджуваності (статичної, циклічної) за рік при щодобовому пуску-зупинці, залишкового ресурсу при щодобовому пуску-зупинці, швидкості вичерпання ресурсу при щодобовому пуску-зупинці також наведені в табл. 1. Швидкості вичерпання ресурсу при щодобовому пуску-зупинці для блоків КуТЕС збільшуються в 3–7 разів у порівнянні з нормальною експлуатацією в базових режимах роботи, що призводить до вичерпання ресурсу (табл. 1). Прогнозована пошкоджуваність блоків КуТЕС, що розрахована згідно рекомендацій [2–5], також наближається

до максимальної (рис. 1–2).

Аналізуючи отримані дані, можна зазначити, що прогнозована пошкоджуваність блока № 3 КуТЕС, при нормальній експлуатації становить 0,966, при чому статична прогнозована пошкоджуваність на стаціонарних режимах складає 0,366, а циклічна прогнозована пошкоджуваність на пускових режимах дорівнює 0,616. Якщо розглядати 2016 рік як роботу у маневреному режимі щодобового пуску-зупинки, то прогнозована річна пошкоджуваність на пускових режимах дорівнює 1,039 та перевищує допустиму пошкоджуваність 1,0, тобто енергоблок не може далі експлуатуватися.

Прогнозований залишковий ресурс блоків КуТЕС в режимі нормальної експлуатації та при щодобовому пуску-зупинці (рис. 2), визначений по нормативним документам Міненерговугілля, також суттєво знижується при роботі в маневреному режимі у порівнянні з експлуатацією в базових та напівбазових режимах роботи (період 2012–2015 роки).

Швидкість вичерпання ресурсу турбін КуТЕС при роботі у базовій і напівбазовій частині графіка електричного навантаження лежить у за-

довільному діапазоні і складає близько 1,48–2,36 %/рік, однак при експлуатації цих турбін у маневреному режимі щодобового пуску – зупинки, швидкість їх зношення зростає в 3–8 разів і становить 7,3–15,87 %/рік.

При оцінці сумарної прогнозованої та наявної пошкоджуваності (статичної, циклічної), залишкового ресурсу та швидкості вичерпання ресурсу при нормальній експлуатації, прогнозованої пошкоджуваності (статичної, циклічної) за рік при щодобовому пуску-зупинці, залишкового ресурсу та швидкості вичерпання ресурсу при щодобовому пуску-зупинці для котлів Кураховської ТЕС (табл. 2 та рис. 3–4) дані по напружено-деформованому і температурному стану були взяті з робіт інших авторів.

З отриманих даних можна зазначити, що як і для турбін, режим щодобового пуску-зупинки є не бажаним для котлів, оскільки прискорює фізичне старіння обладнання в 4–5 разів (8,3–9,66 %/рік). Виходячи з поточних даних, якщо спланувати застосування блоків КуТЕС в маневреному режимі на 2016 рік, то лише за один рік 5 котлів із 7 майже повністю вичерпають свій залишковий ресурс.

Таблиця 1 – Показники пошкоджуваності та залишковий ресурс для турбін Кураховської ТЕС

Кураховська ТЕС		Блок № 3	Блок № 4	Блок № 5	Блок № 6	Блок № 7	Блок № 8	Блок № 9
Рік введення блоку в експлуатацію		1972	1973	1973	1973	1974	1974	1975
Напрацювання блоку на 01.10.15		279723	254623	239615	234531	247278	244695	239208
Кількість пусків блоку на 01.10.15		1424	2352	2862	2655	2186	2381	1691
Пошкодж. за весь час при нормальній експлуатації	статична	0,350	0,318	0,300	0,188	0,309	0,198	0,183
	циклічна	0,616	0,653	0,683	0,433	0,660	0,442	0,426
	сумарна	0,966	0,971	0,983	0,621	0,969	0,640	0,609
Пошкодж. за рік при щодобовому пуску-зупинці	циклічна	0,073	0,122	0,060	0,159	0,122	0,122	0,106
	сумарна	1,039	1,092	1,043	0,779	1,091	0,762	0,715
Швидкість вичерпання ресурсу, %/рік	Норм. експлуатація	2,25	2,31	2,34	1,48	2,36	1,56	1,52
	Щодобовий пуск-зупинка	7,30	12,17	5,98	15,87	12,17	12,17	10,58
Залишковий ресурс, год.	Норм. експлуатація	15626	11388	6044	205412	11430	199123	219552
	Щодобовий пуск-зупинка	4807	2164	2364	19127	2221	25545	31583

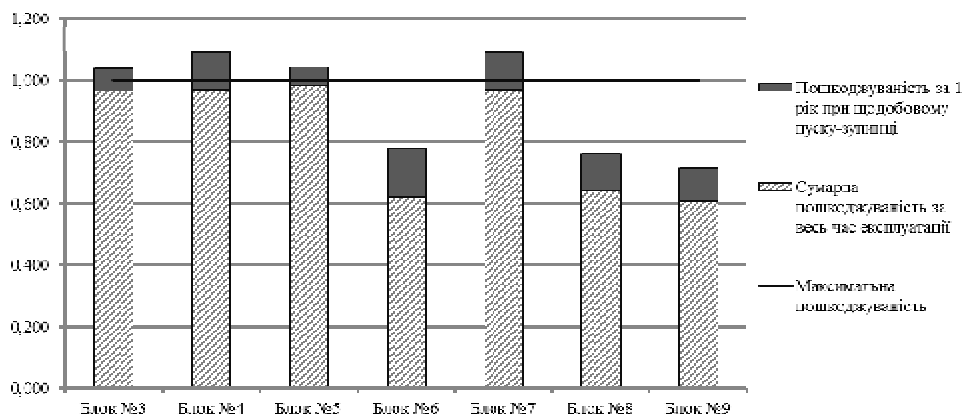


Рис. 1 – Діаграма прогнозованої пошкодженості блоків Кураховської ТЕС (турбіна)

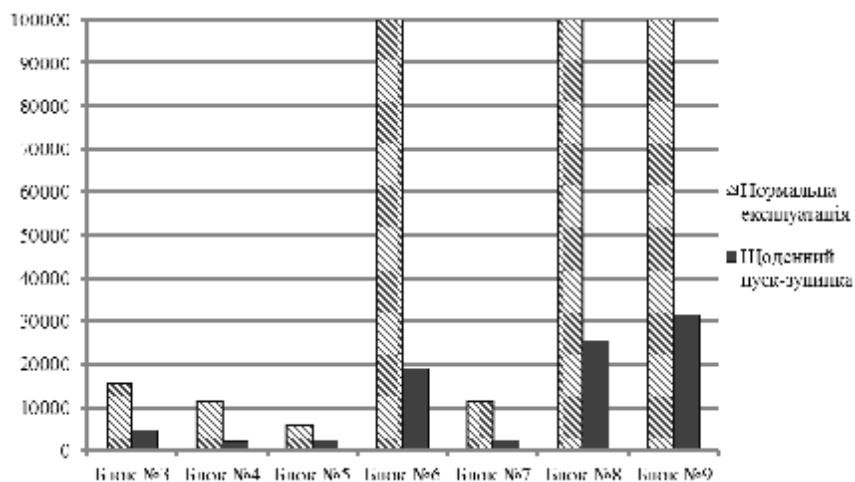


Рис. 2 – Прогнозований залишковий ресурс блоків Кураховської ТЕС (турбіна)

Таблиця 2 – Показники пошкодженості та залишковий ресурс для котлів Кураховської ТЕС

Кураховська ТЕС		Блок № 3	Блок № 4	Блок № 5	Блок № 6	Блок № 7	Блок № 8	Блок № 9
Рік введення блоку в експлуатацію		1972	1973	1973	1973	1974	1974	1975
Напрацювання блоку на 01.10.15		279723	254623	239615	234531	247278	244695	239208
Кількість пусків блоку на 01.10.15		1424	2352	2862	2655	2186	2381	1691
Пошкодж. за весь час при нормальній експлуатації	статична	0,400	0,364	0,342	0,335	0,353	0,350	0,342
	циклічна	0,557	0,538	0,524	0,517	0,530	0,528	0,522
	сумарна	0,957	0,902	0,866	0,852	0,883	0,878	0,864
Пошкодж. за рік при щодобовому пуску-зупинці	циклічна	0,083	0,092	0,089	0,097	0,090	0,089	0,089
	сумарна	1,040	0,994	0,955	0,949	0,973	0,967	0,954
Швидкість вичерпання ресурсу, %/рік	Норм. експлуатація	2,22	2,15	2,06	2,03	2,15	2,14	2,16
	Щодобовий пуск-зупинка	8,30	9,24	8,90	9,66	9,01	8,90	8,95
Залишковий ресурс, год.	Норм. експлуатація	21746	46592	61235	66938	54553	56685	62178
	Щодобовий пуск-зупинка	5832	10824	14185	14068	13038	13630	15016

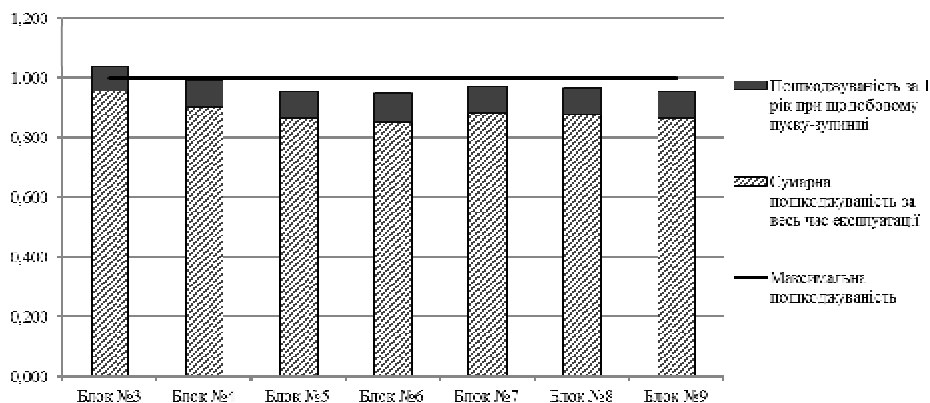


Рис. 3 – Діаграма прогнозованої пошкоджуваності блоків Кураховської ТЕС (котел)

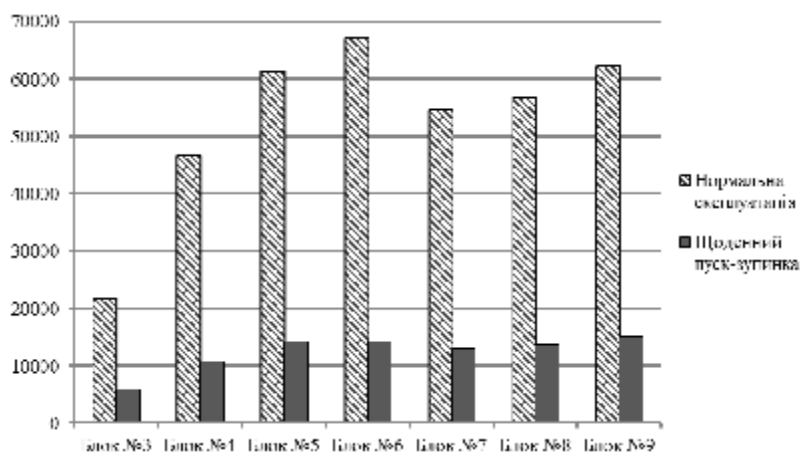


Рис. 4 – Прогнозований залишковий ресурс блоків Кураховської ТЕС (котел)

#### Дослідження впливу роботи енергоблоків Луганської ТЕС в маневреному режимі (пуск-зупинка) на швидкість вичерпання ресурсу енергетичного обладнання

Парові турбіни потужністю 200 МВт блоків № 9–15 ЛуТЭС були введені в експлуатацію в 1963–1969 роках. Станом на 01.10.2015 року відпрацювали 199661–322672 годин при загальній кількості пусків від 687 до 1896. Повної статистики пусків турбіни з різних станів станція не має. За даними ЛуТЭС для блоку № 11 статистика пусків із різних теплових станів за період з 01.01.2005 р. по 01.01.2008 р. становить 136 пусків після 6–10 годин простою, 54 пусків з неостиглого стану і 53 пуски з холодного стану. Всього за цей період проведено 243 пуски з різних теплових станів. Наближено можна прийняти, що для блоку № 11 частка пусків з НС-2 складає 56 %, з НС-1 – 22 % і з ХС – 22 %. Аналогічні дані є по пускам для інших енергоблоків ЛуТЭС, що дозволяє проводити оцінку залишкового ресурсу (табл. 3 та рис. 5–6). Енергоблок № 12 не розглядається, оскільки його було консервовано.

Чотири із шести блоків Луганської ТЭС, що розглядаються мають сумарну пошкоджуваність

близьку до граничного стану 1,0. Пошкоджуваність енергоблоку № 14 уже складає 1,006, що говорить про неможливість його експлуатації за прийнятих коефіцієнтів запасу міцності по числу циклів  $n_N = 3$  і по приведеній деформації  $n_\varepsilon = 1,25$ . Залишковий ресурс п'яти з шести блоків знаходиться на дуже низькому рівні, що свідчить про потребу у негайному дослідженні поточного стану обладнання та проведенню комплексу робіт з продовження ресурсу. Осереднена швидкість з якою енергоблоки Луганської ТЭС щорічно себе зношують лежить на рівні 1,72–2,14 %/рік. Однак при роботі обладнання у режимі щоденного пуску-зупинки, ця швидкість зростає майже в 10 разів і становить 21,99–24,33 %/рік. Це пов'язано з високою чутливістю устаткування до частих пусків із горячого стану. Для блоку № 13, на якому реалізована подача горячого пару на передні кінцеві ущільнення ЦВТ і ЦСТ, швидкість зношення турбіни при щоденному пуску-зупинці складає 6,08 %. Що пояснюється меншими тепловими перепадами і відповідно нижчими температурними градієнтами у початкові моменти пуску з холодного стану, через відсутність «охолодження» кінцевих ущільнень.

Таблиця 3 – Показники пошкоджуваності та залишковий ресурс для турбін Луганської ТЕС

Луганська ТЕС		Блок № 9	Блок № 10	Блок № 11	Блок № 12	Блок № 13	Блок № 14	Блок № 15
Рік введення блоку в експлуатацію		1962	1962	1963	—	1967	1968	1968
Напрацювання блоку на 01.10.15		322672	308281	317571	199661	284658	280930	292226
Кількість пусків блоку на 01.10.15		1617	1813	1811	687	1896	1729	1327
Пошкодж. за весь час при нормальній експлуатації	статична	0,403	0,385	0,397	—	0,356	0,198	0,183
	циклічна	0,591	0,554	0,589	—	0,471	0,809	0,783
	сумарна	0,994	0,939	0,986	—	0,827	1,006	0,966
Пошкодж. за рік при щодобовому пуску-зупинці	циклічна	0,220	0,225	0,243	—	0,061	0,228	0,225
	сумарна	1,214	1,164	1,230	—	0,888	1,234	1,191
Швидкість вичерпання ресурсу, %/рік	Норм. експлуатація	1,88	1,77	1,90	—	1,72	2,14	2,05
	Щодобовий пуск-зупинка	21,99	22,53	24,33	—	6,08	22,81	22,53
Залишковий ресурс, год.	Норм. експлуатація	3096	34027	7429	—	104530	-2208	12755
	Щодобовий пуск-зупинка	264	2675	579	—	29604	-23524	1163

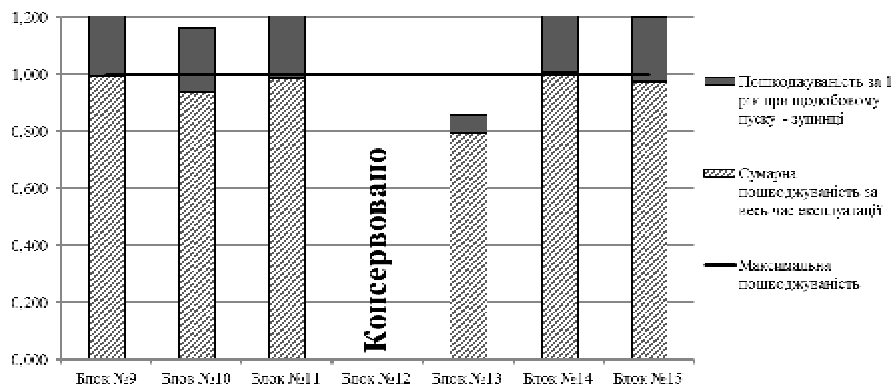


Рис. 5 – Діаграма прогнозованої пошкоджуваності блоків Луганської ТЕС (турбіна)

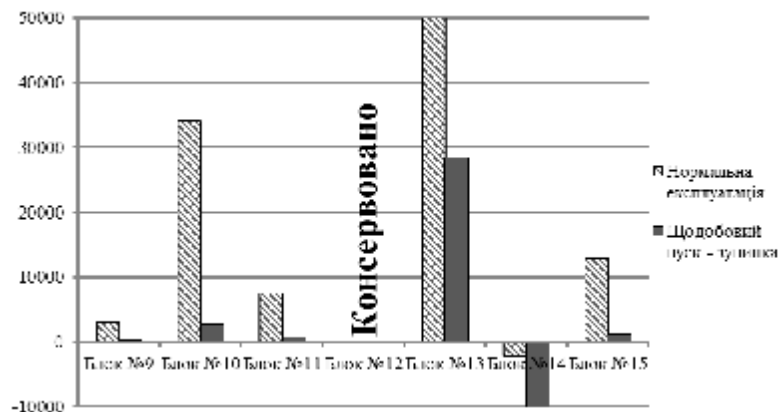


Рис. 6 – Прогнозований залишковий ресурс блоків Луганської ТЕС (турбіна)

У відношенні котельного обладнання (табл. 4 та рис. 7–8) усі енергоблоки Луганської ТЕС викликають занепокоєння і потребують негайного експертного заключення з можливості їх подальшої роботи у режимі нормальної експлуатації. Що стосується роботи в режимі щоденного пуску-зупинки, то його не варто розглядати для

котельного обладнання, оскільки в такому випадку залишковий наробіток складає менше 1 року експлуатації. Залишковий ресурс блоку № 14 має від'ємне значення при поточних коефіцієнтах запасу міцності по числу циклів  $n_N = 3$  і по приведеній деформації  $n_\epsilon = 1,25$ .

Таблиця 4 – Показники пошкоджуваності та залишковий ресурс для котлів Луганської ТЕС

Луганська ТЕС		Блок № 9	Блок № 10	Блок № 11	Блок № 12	Блок № 13	Блок № 14	Блок № 15
Рік введення блоку в експлуатацію		1962	1962	1963	—	1967	1968	1968
Напрацювання блоку на 01.10.15		322672	308281	317571	199661	284658	280930	292226
Кількість пусків блоку на 01.10.15		1617	1813	1811	687	1896	1729	1327
Пошкодж. за весь час при нормальній експлуатації	статична	0,403	0,385	0,397	—	0,235	0,351	0,365
	циклічна	0,591	0,554	0,547	—	0,743	0,654	0,608
	сумарна	0,994	0,939	0,944	—	0,978	1,005	0,973
Пошкодж. за рік при щодобовому пуску-зупинці	циклічна	0,126	0,120	0,111	—	0,076	0,118	0,124
	сумарна	1,120	1,059	1,055	—	1,054	1,123	1,097
Швидкість вичерпання ресурсу, %/рік	Норм. експлуатація	1,88	1,77	1,82	—	2,04	2,14	2,07
	Щодобовий пуск-зупинка	12,59	11,97	11,13	—	7,60	11,77	12,37
Залишковий ресурс, год.	Норм. експлуатація	3096	34027	32429	—	8564	-2208	12755
	Щодобовий пуск-зупинка	461	5037	5291	—	2294	-12156	2135

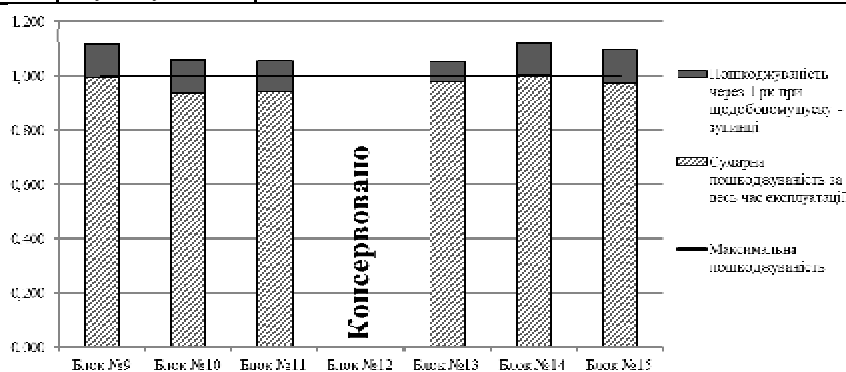


Рис. 7 – Діаграма прогнозованої пошкоджуваності блоків Луганської ТЕС (котел)

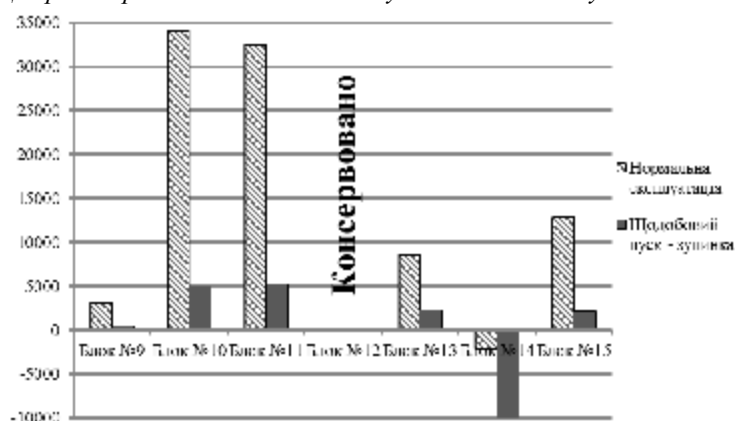


Рис. 8 – Прогнозований залишковий ресурс блоків Луганської ТЕС (котел)

#### Дослідження впливу роботи енергоблоків Запорізької ТЕС в маневреному режимі (пуск-зупинка) на швидкість вичерпання ресурсу енергетичного обладнання

Дані за період з 2012 по 2015 роки по блокам ЗаТЕС (напрацювання, загальна кількість пусків, дата вводу в експлуатацію та ін.) приведені в

табл. 5. Розрахунки сумарної прогнозованої та наявної пошкоджуваності (статичної, циклічної), залишкового ресурсу та швидкості вичерпання ресурсу при нормальній експлуатації, прогнозованої пошкоджуваності (статичної, циклічної) за рік при щодобовому пуску-зупинці, залишкового ресурсу та швидкості вичерпання ресурсу при щодобовому пуску-зупинці наведені також в табл. 5 та

графічно представлені на рис. 9–10. При оцінці ресурсних характеристик по блокам ЗаТЕС дані по напружено-деформованому і температурному стану були взяті з робіт [6–8].

Аналізуючи отримані дані, варто зазначити, що не зважаючи на не досить високий рівень напруженості (250882–277081 год.) та відносно невелику кількість пусків (533–549), пошкоджува-

ність усіх чотирьох блоків наближається до максимально-допустимого значення 1,0. Це свідчить про непридатність блоків потужністю 300 МВт до регулювання навантаження у мережі. При експлуатації цих блоків у режимі щоденного пуску-зупинки, їх залишковий ресурс зменшується у 4–5 разів.

Таблиця 5 – Показники пошкоджуваності та залишковий ресурс для енергоблоків 300 МВт Запорізької ТЕС

Запорізька ТЕС		Блок №1	Блок №2	Блок №3	Блок №4
Рік введення блоку в експлуатацію		1972	1972	1972	1973
Напрацювання блоку на 01.10.15		277081	263437	264482	250882
Кількість пусків блоку на 01.10.15		534	533	549	543
Пошкодж. за весь час при нормальній експлуатації	статична	0,462	0,439	0,441	0,418
	циклічна	0,527	0,485	0,540	0,569
	сумарна	0,989	0,924	0,981	0,987
Пошкодж. за рік при щодобовому пуску-зупинці	циклічна	0,103	0,100	0,097	0,094
	сумарна	1,093	1,024	1,077	1,081
Швидкість вичерпання ресурсу, %/рік	Норм. експлуатація	2,30	2,15	2,28	2,35
	Щодобовий пуск-зупинка	10,34	9,97	9,66	9,36
Залишковий ресурс, год.	Норм. експлуатація	5645	41196	9399	5599
	Щодобовий пуск-зупинка	1256	8878	2220	1406

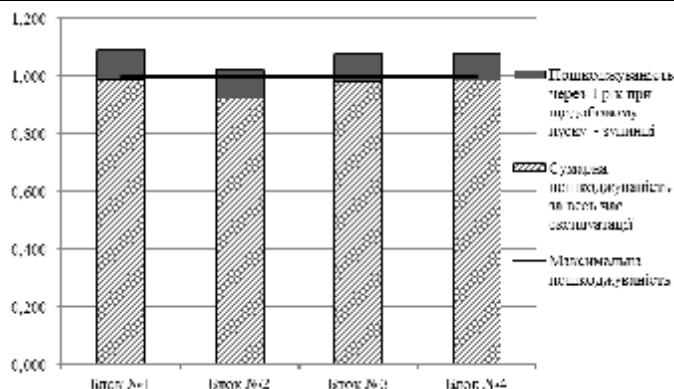


Рис. 9 – Діаграма прогнозованої пошкоджуваності блоків 300 МВт Запорізької ТЕС

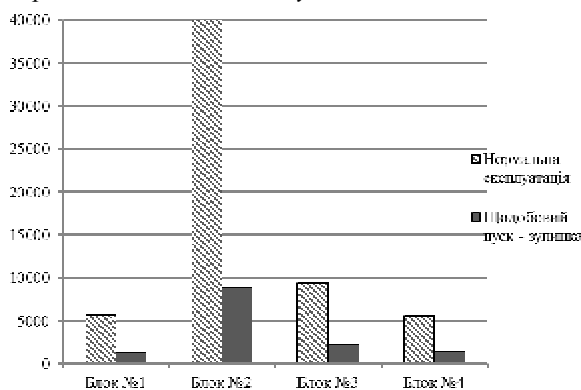


Рис. 10 – Прогнозований залишковий ресурс блоків 300 МВт Запорізької ТЕС



Прогнозований залишковий ресурс ТЕС ДТЕК «ЕНЕРГО» в режимі нормальної експлуатації та в маневреному режимі щодобового пуску-зупинки для енергоблоків 200 МВт (рис. 11) та для енергоблоків 300 МВт (рис. 12) свідчить про швидке вичерпання індивідуального ресурсу енергоблоків ТЕС при роботі в режимі регулювання частоти електричної мережі. Загальний прогнозований рівень залишкового ресурсу для енергоблоків потужністю 200–300 МВт на 2016 рік складає менше 20 тис. год. при щодобовому пуску-зупинці (суцільні стовпчики на рис. 11–12), що унеможли-

влює роботу в маневрених режимах такого типу. Можна розглядати заміну режимів щодобових пусків-зупинок на режими роботи з неостиглого стану НС-1, коли температура металу елементів енергетичного обладнання складає 250 °С з почерговим відімкненням окремих блоків згідно спеціального оптимізованого графіку.

Запропонований режим експлуатації різко скоротить вже продовжений ресурс експлуатації вугільних блоків теплових електричних станцій України, а саме ТЕС ДТЕК «Енерго».

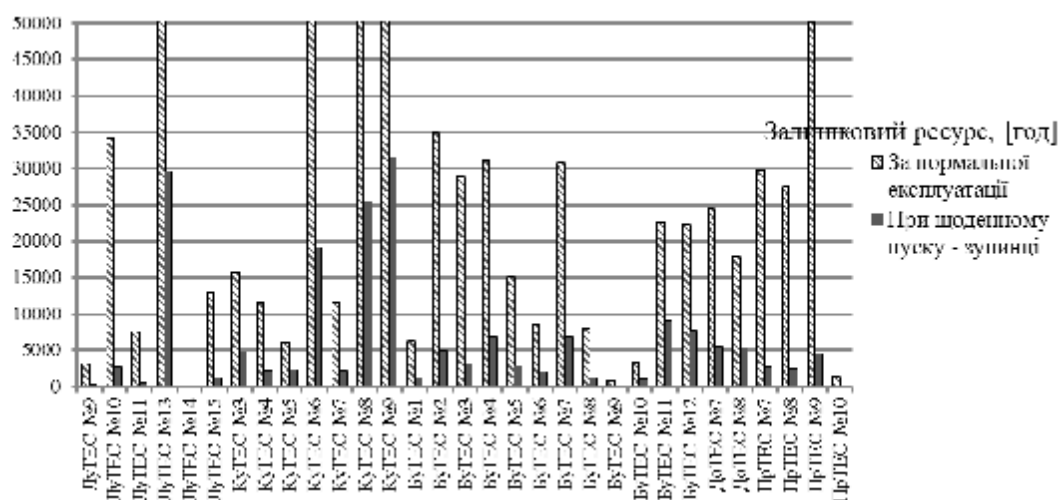


Рис. 11 – Прогнозований залишковий ресурс ТЕС ДТЕК «ЕНЕРГО» в режимі нормальної експлуатації та в маневреному режимі щодобового пуску-зупинки (енергоблоки 200 МВт)

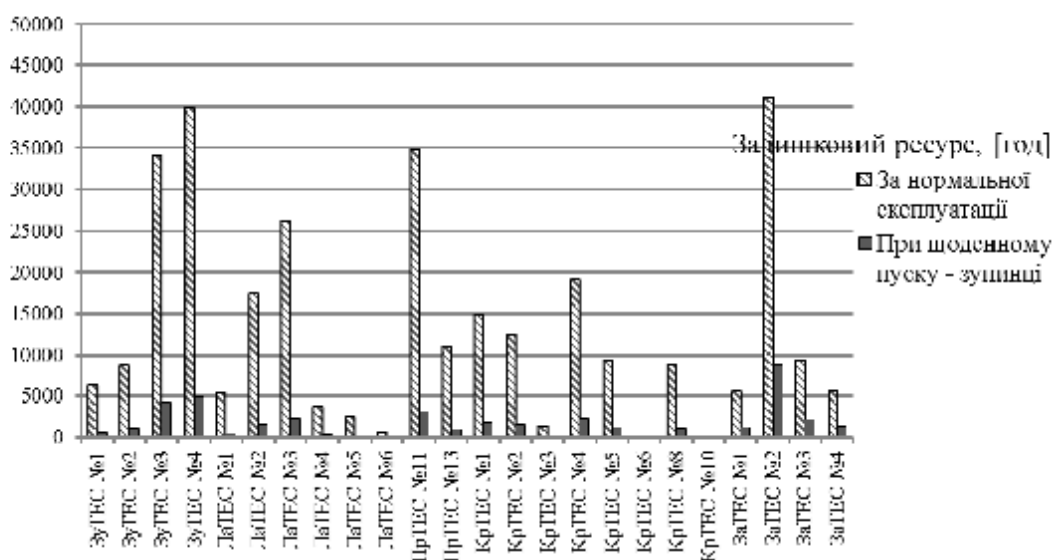


Рис. 12 – Прогнозований залишковий ресурс ТЕС ДТЕК «ЕНЕРГО» в режимі нормальної експлуатації та в маневреному режимі щодобового пуску-зупинки (енергоблоки 300 МВт)

### Висновки

Станом на 01.10.2015 р. з 57 блоків ТЕС України ТОВ «ДТЕК Енерго» 4 енергоблоки відпрацювали розрахунковий ресурс 100 тис. год. і працюють у допустимих межах згідно норматив-

них документів Міненерговугілля України, 38 енергоблоків перевищили парковий ресурс 200–220 тис. год., 15 енергоблоків перевищили подовжений індивідуальний ресурс 300 тис. год. При цьому по показниках маневрування (кількість пусків при нормі 600–800 пусків згідно нормативних

документів) 53 енергоблоки перевищили нормативні показники, а 34 енергоблоки перевищили межу у 2000 пусків, що може призвести до значного зниження ресурсних характеристик та збільшення аварійних зупинок при збільшенні кількості пусків, що характерно для роботи у маневрених режимах щоденного пуску-зупинки. Це свідчить про неможливість залучення більшості енергетичного обладнання ТОВ «ДТЕК Енерго» для регулювання електричного навантаження.

Згідно нормативних документів Міністерства енергетики та вугільної промисловості України подовження терміну експлуатації неможливе без проведення неруйнівного контролю енергетичного обладнання, який повинен відбуватися у капітальному ремонті та особливо стосується елементів, що вичерпали парковий ресурс по двох показниках – загальне напруження та загальна кількість пусків за весь період експлуатації. Невиконання нормативних вимог щодо періодичності капітальних ремонтів, заміни у нормативних обсягах елементів основного та допоміжного обладнання, неможливість неруйнівного обстеження стану енергетичного обладнання та оцінки можливості подовження експлуатації, призведе до накопичення фізичного зношування та виходу устаткування з роботи з непередбачуваними наслідками.

### Рекомендації

1 При проведенні робіт з оцінки технічного стану й перепризначення терміну експлуатації енергетичного обладнання необхідно виконати: аналіз технічної документації (конструкторської та експлуатаційної документації, документації підприємства-виробника, паспортів енергетичного обладнання); аналіз умов експлуатації та фактичної кількості циклів навантаження з формуванням розрахункових режимів; аналіз результатів контролю стану металу (передексплуатаційного, періодичного та позачергового); аналіз відмов та пошкоджень.

2 Дослідити попереднє встановлення механізмів старіння; встановити визначальні параметри і критерії технічного стану.

3 Вдосконалити або впровадити програми технічного діагностування енергетичного обладнання, забезпечити підготовку та проведення додаткового контролю (обстеження) технічного стану енергетичного обладнання та опрацювання отриманих результатів.

4 Провести розрахунки на міцність енергетичного обладнання, що відпрацювало парковий ресурс згідно нормативних документів та оцінку залишкового ресурсу енергетичного обладнання, що включає встановлення фактично наявних механізмів старіння.

5 Забезпечити обґрунтування перепризначеного терміну експлуатації та нової допустимої

кількості циклів навантаження з урахуванням прогнозу зміни параметрів технічного стану й механізмів старіння енергетичного обладнання в понадпроектний період.

6 Розробити заходи щодо забезпечення безпечної експлуатації та управління старінням енергетичного обладнання у період перепризначеного терміну експлуатації, оформлення результатів проведених робіт та їх технічне супроводження при погодженні органами держнагляду.

### Список літератури

- 1 НД МПЕ України. Контроль металу і продовження терміну експлуатації основних елементів котлів, турбін і трубопроводів теплових електростанцій [Текст] : СОУ-Н МПЕ 40.17.401:2004. – Офіц. вид. – К.: ГРІФРЕ: М-во палива та енергетики України, 2005. – 76 с. – (Нормативний документ Мінпаливенерго України, Типова інструкція).
- 2 РТМ 108.021.103. Детали паровых стационарных турбин. Расчёт на малоцикловую усталость [Текст]. – М., 1985. – № АЗ–002/7382. – 49 с.
- 3 РТМ 24.020.16-73. Турбины паровые стационарные. Расчёт температурных полей роторов и цилиндров паровых турбин методом электро моделирования [Текст]. – М., 1973. – № ВК-002/3209. – 104 с.
- 4 РД 34.17.440-96. Методические указания о порядке проведения работ при оценке индивидуального ресурса паровых турбин и продлении срока их эксплуатации сверх паркового ресурса [Текст]. – М., 1996. – 98 с.
- 5 СОУ-Н МЕНВ 40.1-21677681-52:2011 Визначення розрахункового ресурсу та оцінки живучості роторів та корпусних деталей турбіни [Текст] : методичні вказівки / Міненерговугілля України / **Н. Г. Шульженко**. – Офіц. вид., 2011. – 24 с.
- 6 **Мацевитый, Ю. М.** Повышение энергоэффективности работы турбоустановок ТЭС и ТЭЦ путём модернизации, реконструкции и совершенствования режимов их эксплуатации [Текст] : моногр. / **Ю. М. Мацевитый, Н. Г. Шульженко, В. Н. Голощапов** [и др.]. – Киев : Научная мысль, 2008. – 366 с. – ISBN 978-9-660-00850-3.
- 7 **Берлянд, В. И.** Обобщённые результаты исследования циклической прочности паровых турбин мощностью 160, 200 и 300 МВт при переменных режимах работы [Текст] / **В. И. Берлянд, Е. Р. Плоткин** // Теплоэнергетика. – 1992. – № 6. – С. 23–29.

### Bibliography (transliterated)

- 1 (2005), *ND MPE Ukrainy*. *Kontrol` metalu i prodovzhennya terminu ekspluatatsiyi osnovny`x elementiv kotliv, turbin i truboprovodiv teplovy`x elektrostancij*. – *Ty`pova instrukciya. SOU–N MPE 40.17.401:2004 [RD of MFEU. Metal inspection and extending operating life of main components of boilers, turbines and pipelines of thermal power plants: SOU-N MPE 40.17.401:2004]*, GRIFRE, Ministry of fuel and energy of Ukraine, Kiev, Ukraine.
- 2 (1985), RTM 108.021.103. *Detali parovyh stacionarnykh turbin. Raschet na malociklovuyu ustalost'* [Details of stationary steam turbines. Low cycle fatigue calculation], Moscow, Russian.

- 3 (1973), RTM 24.020.16-73. *Turbiny parovye stacionarnye. Raschet temperaturnykh polej rotorov i cilindrov parovykh turbin metodom jelektromodelirovaniya* [Stationary steam turbines. The calculation of the temperature fields of the rotors and the cylinders of steam turbines by electrical analogy method], Moscow, Russian.
- 4 (1996), RD 34.17.440–96. *Metodicheskie ukazaniya o porjadke provedeniya rabot pri ocenke individual'nogo resursa parovykh turbin i prodlenni sroka ih jekspluatacii sverh parkovogo resursa* [Methodological guidelines to perform works within assessment of individual service life of steam turbines and its extension beyond the fleet service life], Moscow, Russian.
- 5 **Shulzhenko, N. G.** (2011), SOU-N MEV 40.1-21677681-52:2011 *Vy`znachennya rozrakhunkovogo resursu ta ocinky` zhy`vuchosti rotoriv ta korpusny`x detalej turbiny`*: *Metody`chni vkazivky`/Minenergougyillya Ukrayiny`* [Determination of the estimated resource and assessment of survivability of rotors and turbine case details: Guidelines], Ministry of Fuel and Energy of Ukraine, Kyiv, Ukraine.
- 6 **Matsevityi, Yu. M., Shulzhenko, N. G. and Goloschapov, V. N.** (2008), *Povyshenie jenergojeffektivnosti raboty turbostanovok TJeS i TJeC putem modernizacii, rekonstrukcii i sovershenstvovanie rezhimov ih jekspluatacii* [Improving the energy efficiency of work of TPP and CHPP turbines by modernization, reconstruction and improvement of their operation modes], Nauk. Dumka, Kiev, ISBN 978-9-660-00850-3, Ukraine.
- 7 **Berliand, V. I.** (1992), *Obobshhennyye rezultaty issledovaniy ciklicheskoj prochnosti parovykh turbin moshnost'ju 160, 200 i 300 MVt pri peremennykh rezhimakh raboty* [Generalized results of research of cyclic strength of steam turbines with a capacity of 160, 200 and 300 MW at different operating conditions]<sup>2</sup>, *Teplojenergetika* [Thermal energy], no. 6, pp. 23–29.

#### Відомості про авторів (About authors)

**Черноусенко Ольга Юріївна** – доктор технічних наук, професор, Національний Технічний Університет України «Київський Політехнічний Інститут», завідувач кафедри Теплоенергетичних установок теплових і атомних електростанцій; м. Київ; тел.: (067) 504-82-92; e-mail: [chernousenko20a@gmail.com](mailto:chernousenko20a@gmail.com); [cher\\_olya@2c.kiev.ua](mailto:cher_olya@2c.kiev.ua); ORCID 0000-0002-1427-8068.

**Chernousenko Olga Yuriivna** – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Head of the Department of Cogeneration Installations of Thermal and Nuclear Power Plants; Kyiv.

**Пешко Віталій Анатолійович** – Національний Технічний Університет України «Київський Політехнічний Інститут», аспірант кафедри Теплоенергетичних установок теплових і атомних електростанцій; м. Київ; тел.: (067) 176–54–71; e-mail: [vapeshko@gmail.com](mailto:vapeshko@gmail.com); ORCID 0000-0003-0610-1403.

**Peshko Vitaliy Anatoliyovych** – National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Postgraduate Student at the Department of Cogeneration Installations of Thermal and Nuclear Power Plants; Kyiv.

*Будь ласка посилайтеся на цю статтю наступним чином:*

**Черноусенко, О. Ю.** Вплив роботи енергоблоків ТЕС в маневреному режимі на вичерпання ресурсу енергетичного обладнання [Текст] / **О. Ю. Черноусенко, В. А. Пешко** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 10(1182). – С. 6–16. – Бібліогр.: 7 назв. – ISSN 2078-774X. – doi: 10.20998/2078-774X.2016.10.01.

*Please cite this article as:*

**Chernousenko, O. and Peshko, V.** (2016), <sup>2</sup>Influence of the Operation of the Power Units of Thermal Power Plants in the Maneuvering Mode on the Aging Rate of Power Equipment<sup>2</sup>. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: Power and heat engineering processes and equipment*, no. 10(1182), pp. 6–16, ISSN 2078-774X, doi: 10.20998/2078-774X.2016.10.01.

*Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:*

**Черноусенко, О. Ю.** Влияние работы энергоблоков ТЭС в маневренном режиме на исчерпание ресурса энергетического оборудования [Текст] / **О. Ю. Черноусенко, В. А. Пешко** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 10(1182). – С. 6–16. – Бібліогр.: 7 назв. – ISSN 2078-774X. – doi: 10.20998/2078-774X.2016.10.01.

**АННОТАЦІЯ** Для енергетики України характерним являється недостаток маневрених потужностей, тому ОЕС України вимушена привертати пилеугольні блоки, спроектовані для базової роботи, к покриттю пикових нагрузок и регулюванню в целом. Проаналізовано текущее состояние енергогенеруючого обладнання України. Исследовано влияние работы энергоблоков 200–300 МВт в маневренном режиме и рассчитан прогнозированный остаточный ресурс в режиме нормальной эксплуатации и ежедневного пуска-останова. Рассчитаны показатели скорости исчерпания ресурса и отмечено, что в маневренном режиме скорость оборудования возрастает в 3–8 раз. Именно поэтому, в соответствии к текущему состоянию оборудования, работа в маневренном режиме является не желательной и требует разработки специальной нормативной базы, поскольку значительно изнашивает имеющиеся основные фонды.

**Ключевые слова:** теплові електростанції, енергоблок, Об'єдінена Енергетична Система України, пошкодження, остаточний ресурс, прогнозування.

*Надійшла (received) 26.01.2016*