

УДК 621.165.65

doi: 10.20998/2078-774X.2016.08.03

О. Ю. ЧЕРНОУСЕНКО, Т. В. НИКУЛЕНКОВА, А. Г. НИКУЛЕНКОВ**ОЦІНКА СТАНУ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ УКРАЇНИ ТА ІНШИХ КРАЇН**

АНОТАЦІЯ Процес нарощування енергетичних потужностей, що направлений на забезпечення зростаючого попиту споживання електроенергії, ускладнений наявністю значної кількості енергоблоків, які відпрацювали проектний термін експлуатації. Але вітчизняна і закордонна практика показує, що фактичний термін експлуатації енергоблоків часто суттєво перевищує проектний термін експлуатації, заявлений виробником. Продовження терміну експлуатації діючих енергоблоків є загальноприйнятою міжнародною практикою, що забезпечує підтримку виробництва електроенергії на досягнутому рівні до введення нових енергогенеруючих потужностей. В статті приведений аналіз поточного стану енергетичного обладнання теплових та атомних енергоблоків України. Всебічно висвітлені основні відмінності та проблеми при оцінці залишкового ресурсу критичних елементів теплових та атомних енергоблоків. Представлений порівняльний аналіз вітчизняних і зарубіжних методів оцінки залишкового ресурсу обладнання. Порушена основна проблема забезпечення стійкого функціонування енергоблоків.

Ключові слова: енергоблок, парова турбіна, наробіток, залишковий ресурс, критичний елемент.

О. CHERNOUSENKO, T. NIKULENKOVA, A. NIKULENKOV**STATE ASSESSMENT OF UKRAINIAN AND OTHER COUNTRIES POWER EQUIPMENTS**

ABSTRACT The power capacity growth to meet increasing electricity demand is complicated by a significant number of power units having operating lifetime expired. However, the domestic and foreign practice shows that the actual operating life of power units is often substantially longer than it is claimed by manufacturers. Lifetime extension of existing power units is a common international practice ensuring power generation at the achieved level until new power generating capacity is put into operation. The article provides analysis of the current state of power equipment of Ukrainian thermal and nuclear power plants. The main differences and problems in assessment of remaining service life of critical components of TPP and NPP units are comprehensively considered. A comparative analysis of domestic and foreign methods for equipment remaining life assessment is provided. The main problem of ensuring sustainable unit performance is raised within the article.

Key words: unit, steam turbine, operating time, remaining time, critical component.

Вступ

Варто зазначити, що подовження терміну експлуатації діючих енергоблоків електростанцій світу є одним із найбільш ефективних напрямів забезпечення окупності капіталовкладень в енергетичну галузь. Оціночні дані, отримані різними авторами, коливаються в діапазоні від 15 до 40 % вартості нової електростанції. Це достатньо суттєва складова затрат, навіть якщо приймати цю оцінку по мінімальному рівню. Визначення технічного стану обладнання, аналіз пошкоджень та відмов, причин і механізмів виникнення дефектів металу, вивчення причин і механізмів його старіння є однією із основ забезпечення надійної, безпечної експлуатації та визначення можливості подовження терміну експлуатації обладнання теплових і атомних електростанцій, в тому числі турбін.

Мета роботи

Мета роботи полягає в аналізі стану енергетичного обладнання теплових та атомних електричних станцій і виявленні основних факторів вичерпання ресурсу даного обладнання.

Стан енергетичного обладнання теплових енергоблоків

Стан енергетичного обладнання теплових енергоблоків ускладнюється тим, що електростанції здійснюють свою діяльність в умовах постійного недофінансування. Наслідком роботи на морально і фізично застарілому обладнанні являється висока питома витрата палива і високі показники забруднення навколишнього середовища.

Ресурс енергоустановки в цілому прийнято порівнювати до ресурсу турбіни, тому що її заміна приведе до різкого росту витрат. Ротори парових турбін є відповідальними елементами, що визначають, по суті, ресурс парової турбіни. Умови їх експлуатації – високий рівень температур і напруг, обумовлюють характер протікання процесів повзучості і малоциклової втоми. Прогнозування фактичного ресурсу роторів парових турбін в даний час є одним з основних завдань діагностики роторів з великим напрацюванням і у зв'язку зі складними умовами їх навантаження.

За перший період роботи (до 1983 р.) ротори високого і середнього тиску турбін всіх типів показали себе надійними. Далше було виявлено закономірне зниження міцнісних властивостей роторних сталей, проте воно не супроводжувалося зниженням пластичності і тріщиностійкості, тому залишався значний запас міцності включаючи дов-

готривалу міцність. Це дозволило вдвічі подовжити парковий ресурс турбін потужністю 200 МВт.

Подальші дослідження в 1984–1994 рр. дали підстави для припущення можливості подальшого подовження ресурсу турбін великої потужності, проте вже на основі індивідуального підходу до оцінки стану кожної конкретної турбіни. Такий підхід дав можливість повніше враховувати індивідуальні особливості і резерви кожного агрегату (реальні особливості його експлуатації, фактичний стан металу), індивідуальні недоліки об'єкту. Він дозволяє у кожному конкретному випадку вирішувати задачу про вибір варіанту подовження ресурсу з урахуванням реальних можливостей власника (електростанції, енергосистеми) в частині об'єму відновного ремонту, реконструкції, часткової заміни вузлів і деталей, оснащення додатковими засобами контролю і діагностики, нарешті, корегування подальших режимів експлуатації [1–5].

За період з 80-х років по сьогоднішній день проведений комплекс науково-дослідних робіт і накопичений досвід експлуатації, які дозволяють збільшити паркові терміни експлуатації турбін більше чим в 2 рази. Вироблені підходи до подовження терміну служби обладнання, яке знаходиться на різних стадіях вичерпання фізичного ресурсу [6–8].

Ситуація, яка склалась на енергетичному ринку України свідчить про необхідність збільшення робочих потужностей, що відповідно вимагає оновлення або повну заміну обладнання теплових електростанцій впродовж наступних 15–20 років. В Україні 74 енергоблоки теплових електричних станцій (ТЕС) потужністю 150–800 МВт із 102 знаходяться на межі перевищення паркового ресурсу (220 тис. годин). Напрацювання турбін великої потужності показано на рис. 1.

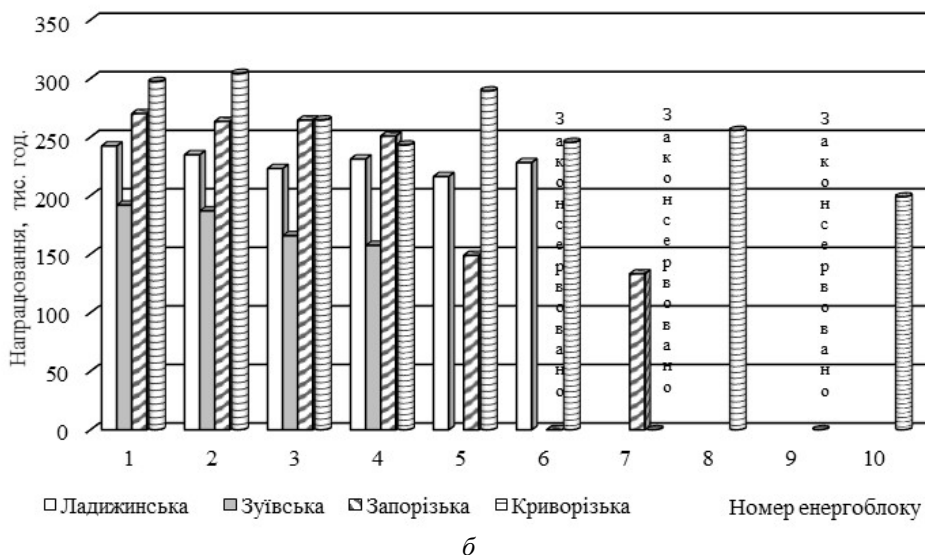
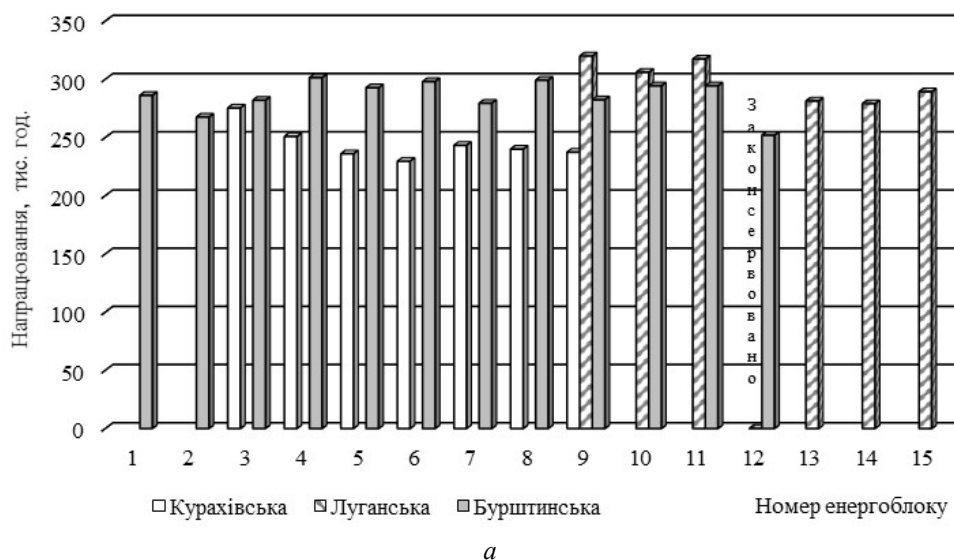


Рис. 1 – Напрацювання турбін теплових електростанцій ДТЕК станом на 01.01.2015 р.:
а – напрацювання турбін потужністю 200 МВт; б – напрацювання турбін потужністю 300 МВт

З 2007 року Донецькою паливно-енергетичною компанією (ДТЕК) модернізовано 17 енергоблоків. В рамках даної модернізації відбулось оновлення або заміна практично всього обладнання енергоблоків: котлів, турбін, генераторів, трансформаторів і допоміжного електрообладнання, впроваджені автоматичні системи управління технологічними процесами. Це дозволило подовжити термін експлуатації енергоблоків, в тому числі збільшити встановлену потужність, розширити діапазон маневреності, досягти зниження питомої витрати палива на виробництво кВт·год., що позитивно впливає на екологічні характеристики ТЕС.

Модернізація ТЕС направлена на забезпечення надійного і безперебійного виробництва електроенергії. Реконструкція енергоблоків дала Об'єднаній енергетичній системі (ОЕС) України додаткові 324 МВт потужності. На 2020–2030 рр. компанією заплановане комплексне впровадження автоматичної системи управління (АСУ).

Аналіз стану атомних енергоблоків України

Аналіз стану атомних енергоблоків України показує, що у значній частині енергоблоків добігає кінця проектний термін експлуатації, або проектний термін вже був подовжений (рис. 2). Україна в даний час має 15 енергоблоків на чотирьох атомних електростанціях із встановленою загальною потужністю 13,835 ГВт. Всі ці атомні електростанції експлуатуються державним Підприємством Національна атомна енергогенеруюча компанія «Енергоатом». Проблема вичерпання ресурсу енергетичного обладнання є спільною для світової ядерної промисловості. Але досвід експлуатації атомних електростанцій показав, що фактичний термін служби основного обладнання набагато вищий чим передбачалось в минулому.

Експлуатація у понад проектний термін може бути дозволена тільки за умови, що рівень безпеки енергоблоку атомної електричної станції (АЕС) не нижче, ніж встановлений в чинних нормах і правилах з ядерної та радіаційної безпеки. Експлуатація енергоблоку АЕС після досягнення проектного терміну експлуатації можлива тільки у разі внесення змін до ліцензії на право здійснення діяльності «експлуатація ядерної установки», що стосуються термінів експлуатації енергоблоків.

Рішення про доцільність здійснення заходів з подовження експлуатації енергоблоку АЕС приймає експлуатуюча організація, виходячи з можливості забезпечення безпеки на рівні, встановленому в чинних нормах і правилах з ядерної та радіаційної безпеки, шляхом проведення аналізу економічних факторів та технічного стану критичних елементів блоку АЕС. Одним з таких критичних елементів є турбіна.

В якості індивідуального залишкового ре-

сурсу турбіни слід приймати напрацювання турбіни від моменту контролю її технічного стану до переходу в граничний стан.

В основу оцінки залишкового ресурсу турбіни повинні бути покладені:

- індивідуальний підхід до прогнозування граничного стану турбіни та її складових частин;
- принцип «безпечної експлуатації за технічним станом», згідно з яким, оцінка технічного стану турбіни здійснюється по визначальних параметрах технічного стану, що забезпечує її надійну та безпечну експлуатацію згідно нормативної, технічної та проектної документації;
- експертна оцінка технічного стану і залишкового ресурсу.

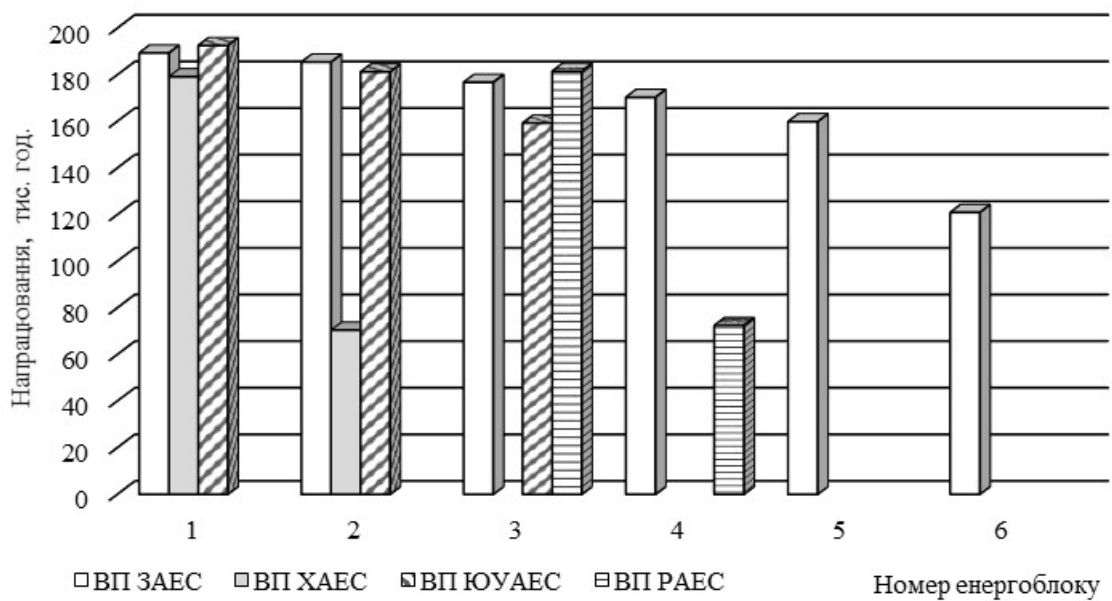
Значний прогрес в області удосконалення проточних частин парових турбін ТЕС і АЕС визначив появу нових високоефективних методів модернізації діючого енергетичного обладнання зі значним підвищенням їх техніко-економічних та експлуатаційних показників. У ВАТ «Турбоатом» були розроблені та реалізовані проекти модернізації турбін типу К-220-44, що працюють на АЕС України.

В 2014 році відбулося зниження об'ємів генерації електроенергії теплоелектроцентралі (ТЕЦ), що обумовлено введенням уряду лімітів на споживання природного газу, який служить основною сировиною для виробництва. Для покриття утвореного дефіциту потужностей було підняте базове навантаження на АЕС. Атомні станції збільшили виробництво електроенергії на 6,2 % (88,4 млрд. кВт·год.).

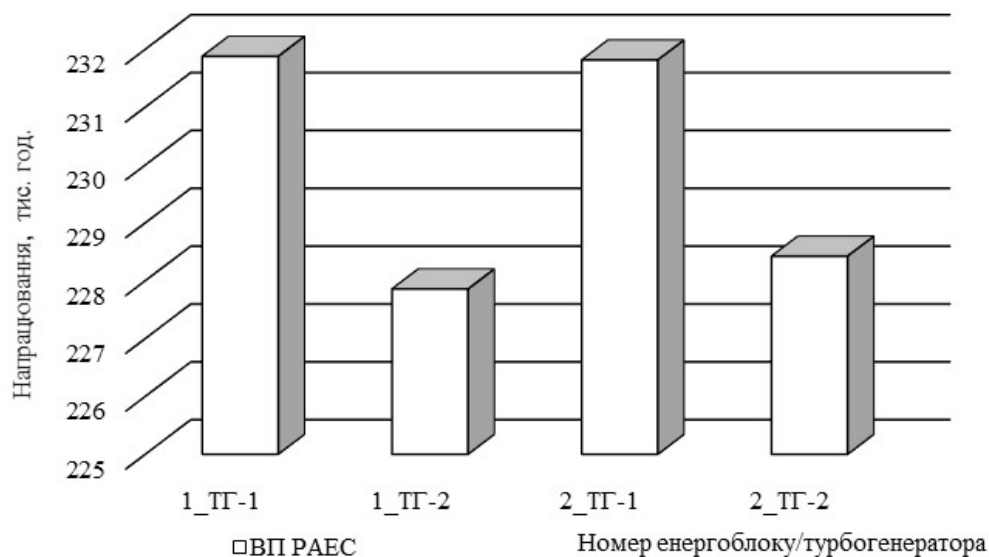
Енергетичне обладнання енергоблоків інших країн

Енергетичне обладнання енергоблоків інших країн також потребує подовження терміну його експлуатації. Промислово розвинені країни Заходу також подовжують термін експлуатації раніше встановленого енергетичного обладнання, але подовженням терміну експлуатації конкретної енергоустановки починають займатись по мірі вичерпання її проектного ресурсу. У світі виконують не тільки повне оновлення енергетичних установок на основі обладнання нового покоління, але й заходи з реконструкції та модернізації діючого енергетичного обладнання із застосуванням удосконалених елементів, деталей і вузлів. Найбільш ефективним є технічне переозброєння з використанням сучасних технологій.

Американські спеціалісти [9] вважають, що при розрахунковому ресурсі елементів обладнання електростанції від 30 до 40 років їх доцільно експлуатувати до наробітку 50–80 років. В США також роблять спроби контролювати ріст тріщин в роторах до граничної величини.



а



б

Рис. 2 – Напрацювання турбін атомних електростанцій станом на 01.01.2015 р.:
 а – напрацювання турбін потужністю 1000 МВт; б – напрацювання турбін потужністю 220 МВт;
 ВП ЗАЕС – відокремлене підприємство «Запорізька АЕС»; ВП ХАЕС – відокремлене підприємство «Хмельницька АЕС»; ВП ЮУАЕС – відокремлене підприємство «Южно-Українська АЕС»; ВП РАЕС – відокремлене підприємство «Рівненська АЕС»

Згідно оцінок американських енергетиків подовження терміну служби енергетичного обладнання може складати до 20–30 % вартості будівництва нової ТЕС, що дозволяє вважати подовження ресурсу достатньо вигідним з економічної точки зору.

При підході німецьких вчених до даного питання поєднуються розрахункові методи, результати контролю металу і дослідження зразків. Вони доповнюють один одного, оскільки часто

застосувати дефектоскопію і інші інструментальні методи достатньо складно.

Аналогічний підхід як в Україні використовується і в інших країнах світу – проводиться розрахунковий аналіз з максимальним врахуванням результатів досліджень і виявляються найбільш напружені елементи. Після чого ці елементи перевіряються за допомогою методів інструментального контролю.

Висновки

Основною проблемою забезпечення стійкого функціонування енергоблоків теплових і атомних електростанцій є подовження ресурсу та покращення їх маневреності при забезпеченні надійності роботи. Стан обладнання ТЕС викликає обґрунтоване занепокоєння, що обумовлює необхідність прийняття невідкладних дій для стабілізації ситуації в енергетиці, в першу чергу, для покращення технічного стану обладнання та реалізації заходів по створенню нового обладнання для генеруючих потужностей з урахуванням проблем енергоефективності та екологічної сумісності з навколишнім середовищем.

Список літератури

- 1 **Резинских, В. Ф.** Ресурс и надёжность металла цельнокованных роторов паровых турбин [Текст] : дис. ... д-ра тех. наук : 05.04.12, утв. 12.10.01 / **Резинских Владимир Федорович.** – М., 2001. – 301 с.
- 2 **Петерсон, Р. Е.** Коэффициенты концентрации напряжений [Текст] / **Р. Е. Петерсон.** – М. : Мир, 1977. – 304 с.
- 3 Турбины паровые стационарные. Нормы расчёта на прочность хвостовых соединений рабочих лопаток [Текст] : ОСТ 108.021.07-84. – [Действующий с 1986-01-01]. – Ленинград : Изд-во НПО ЦКТИ, 1986. – 20 с.
- 4 **Нейбер, Г.** Теория концентрации напряжений в призматических стержнях, работающих в условиях сдвига, для любого нелинейного закона, связывающего напряжения и деформации [Текст] / **Г. Нейбер** // Механика. – 1961. – № 4. – С. 117–130.
- 5 **Мэнсон, С.** Температурные напряжения и малоцикловая усталость [Текст] : пер. с англ. / **С. Мэнсон.** – М. : Машиностроение, 1974. – 344 с.
- 6 Определение расчётного ресурса и оценка живучести роторов и корпусных деталей турбин. Методические указания: СОУ-Н МЕВ 40.1-21677681-52:2011 [Текст] / **Н. Г. Шульженко, П. П. Гонтаровский, Ю. И. Матюхин, И. И. Мележик, А. В. Пожидаев.** – Киев : ОЕП «ГРИФРЭ» ; М-во енергетики и угольної промисловості України, 2011. – 48 с.
- 7 **Резинских, В. Ф.** Увеличение ресурса длительно работающих паровых турбин [Текст] / **В. Ф. Резинских, В. И. Гладштейн, Г. Д. Авруцкий.** – М. : Изд. дом МЭИ, 2007. – 296 с. – ISBN 978-5-383-00037-8.
- 8 **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.
- 9 **Viswanaman, R.** Damage Mechanism and Life Assessment of High Temperature Components. (EPEJ) [Текст] / **R. Viswanaman.** – ASM International Metals Park, Ohio 44073, September 1995. – 501 с. – ISBN 0-87170-358-0.

Bibliography (transliterated)

- 1 **Rezinskikh, V. F.** (2001) "Resurs i nadezhnost' metalla cel'nokovanyh rotorov parovyh turbin [Metal service life and reliability of solid-forged steam turbine rotors]", D. Sc. Thesis, Turbomachines and combined turbine installation, All-Russia Thermal Engineering Institute, Moscow, Russian.
- 2 **Peterson, R.** (1977), *Koeffitsienty koncentracii naprjazhenij [Stress concentration factors]*, Mir, Moscow, Russian.
- 3 (1984), *OST.108.021.07-84. Turbiny parovye stacionarnye. Normy rascheta na prochnost' hvostovyh soedinenij rabochih lopatok [Stationary steam turbines. Strength calculation code for tail joints of rotating blades]*, Minjenergomash, Leningrad, Russian.
- 4 **Neiber, G.** (1961), "Teoriya koncentracii naprjazhenij v prizmaticheskikh sterzhnjah, rabotajushhih v uslovijah sdviga, dlja ljubogo nelinejnogo zakona, svjazyvajushhego naprjazhenija i deformacii [Theory of stress concentration in prismatic bars under shear conditions for any nonlinear laws linking stress and deformations]", *Mehanika*, no. 4, pp. 117–130.
- 5 **Menson, S.** (1974), *Temperaturnye naprjazhenija i malociklovaja ustalost' [Temperature stresses and low-cycle fatigue]*, Mashinostroenie, Moscow, Russian.
- 6 **Shulzhenko, N., Gontarovskiy, P., Matjuhin, Ju. I., Melezhih, I. I. and Pozhidaev, A. V.** (2011), *SOU-N MEV 40.1-21677681-52:2011 Viznachennja rozrahunkovogo resursu ta ocinki zhivuchosti rotoriv ta korpusnih detalej turbini: Metodichni vkazivki [Defining design service life and survivability assessment of rotors and turbine casing components. Methodological guidelines]*, Minenergovugillja Ukraini, OEP "GRIFRJE", Kiev, Ukraine.
- 7 **Rezinskikh, V. A., Gladstein, V. I. and Avrutsk, G. D.** (2007), *Uvelichenie resursa dlitel'no rabotajushhih parovyh turbin [Extending service life of steam turbines in long-term operation]*, Izdatel'skij dom MJEI, Moscow, ISBN 978-5-383-00037-8, Russian.
- 8 **Matsevityi, Yu. M., Shulzhenko, N. G. and Goloschapov, V. N.** (2008), *Povyshenie jenergojektivnosti raboty turboustanovok 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.
- 9 **Viswanaman, R.** (1995), *Damage Mechanism and Life Assessment of High Temperature Components. (EPEJ)*, ASM International Metals Park, Ohio 44073, September, ISBN 0-87170-358-0.

Відомості про авторів (About authors)

Черноусенко Ольга Юрївна – 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; 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.

Нікуленкова Тетяна Володимирівна – кандидат технічних наук, Національний Технічний Університет України «Київський Політехнічний Інститут», старший викладач кафедри Теплоенергетичних установок теплових і атомних електростанцій; м. Київ; тел.: (067) 375-54-44; e-mail: tvnikulenkova@yandex.ua; ORCID 0000-0003-1880-1124.

Nikulenkova Tetiana Volodymyrivna – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Lecturer at the Department of Cogeneration Installations of Thermal and Nuclear Power Plants; Kyiv.

Нікуленков Анатолій Геннадійович – Національний Технічний Університет України «Київський Політехнічний Інститут», аспірант кафедри Теплоенергетичних установок теплових і атомних електростанцій; м. Київ; тел.: (063) 82-94-86; e-mail: a-Nikulenkov@yandex.ua; ORCID 0000-0003-4345-8575.

Nikulenkov Anatolii Hennadiiovych – 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 посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Черноусенко, О. Ю. Оцінка стану енергетичного обладнання України та інших країн [Текст] / **О. Ю. Черноусенко, Т. В. Нікуленкова, А. Г. Нікуленков** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 8(1180). – С. 22–27. – Бібліогр.: 9 назв. – ISSN 2078-774X. – doi: 10.20998/2078-774X.2016.08.03.

Please cite this article as:

Chernousenko, O. Yu., Nikulenkova, T. V. and Nikulenkov, A. H. (2016), "State Assessment of Ukrainian and Other Countries Power Equipments", *Bulletin of NTU "KhPI". Series: Power and heat engineering processes and equipment*, no. 8(1180), pp. 22–27, ISSN 2078-774X, doi: 10.20998/2078-774X.2016.08.03.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Черноусенко, О. Ю. Оценка состояния энергетического оборудования Украины и других стран [Текст] / **О. Ю. Черноусенко, Т. В. Никуленкова, А. Г. Никуленков** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 8(1180). – С. 22–27. – Бібліогр.: 9 назв. – ISSN 2078-774X. – doi: 10.20998/2078-774X.2016.08.03.

АННОТАЦИЯ Процесс наращивания энергетических мощностей, что направлен на обеспечение растущего спроса потребления электроэнергии, усложнен наличием значительного количества энергоблоков, которые отработали проектный срок эксплуатации. Но отечественная и заграничная практика показывает, что фактический срок эксплуатации энергоблоков часто существенно превышает проектный срок эксплуатации, заявленный производителем. Продление срока эксплуатации действующих энергоблоков является общепринятой международной практикой, которая обеспечивает поддержку производства электроэнергии на достигнутом уровне до введения новых энергогенерирующих мощностей. В статье приведен анализ текущего состояния энергетического оборудования тепловых и атомных энергоблоков Украины. Всесторонне освещены основные отличия и проблемы при оценке остаточного ресурса критических элементов тепловых и атомных энергоблоков. Представлен сравнительный анализ отечественных и зарубежных методов оценки остаточного ресурса оборудования. Затронута основная проблема обеспечения устойчивости функционирования энергоблоков.

Ключевые слова: энергоблок, паровая турбина, наработка, остаточный ресурс, критический элемент.

Надійшла (received) 05.01.2016