

# НАДІЙНІСТЬ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА БЕЗПЕКА ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ І СИСТЕМ

ISSN 2522-4344 (Online), ISSN 1562-8965 (Print). The problems of general energy, 2018, 2(53): 65–70  
doi: <https://doi.org/10.15407/pge2018.02.065>

УДК 621.165.62-192

**О. Ю. ЧЕРНОУСЕНКО**, д-р. техн. наук., проф.,  
**Д. В. РЫНДЮК**, канд. техн. наук, доц., **В. А. ПЕШКО**, канд. техн. наук.  
Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический  
институт имени Игоря Сикорского», пр-т Победы, 37, г. Киев, 03056, Украина

## ЭФФЕКТИВНОЕ ПРОДЛЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ РОТОРОВ ВЫСОКОГО И СРЕДНЕГО ДАВЛЕНИЯ ТУРБИНЫ К-200-130 ЛУГАНСКОЙ ТЭС

*В ДТЭК Энерго есть значительное количество энергоблоков, которые отработали парковый ресурс на сегодняшний день, среди них и энергоблок № 9 ДТЭК «Луганская ТЭС» мощностью 200 МВт с паровыми турбинами К-200-130. Возникает необходимость принятия решения о дальнейшей эксплуатации. Проведена оценка остаточного ресурса на базе 3D-пространственных аналогов для РВД и РСД паровой турбины К-200-130 мощностью 200 МВт блоков № 9 ДТЭК «Луганская ТЭС» с экспериментально полученными коэффициентами запаса прочности металла и учетом реальных условий эксплуатации согласно данным поврежденности, полученных по результатам обследования состояния металла энергетического оборудования. Рассмотрены рекомендации по повторному продлению срока эксплуатации высокотемпературного энергетического оборудования.*

*Ключевые слова:* коэффициент запаса прочности, ротор среднего давления, ротор высокого давления, статическая поврежденность, циклическая поврежденность, остаточный ресурс, малоцикловая усталость, длительная прочность.

**Введение.** В 2006–2009 гг. НТУУ «КПИ имени Игоря Сикорского» были выполнены работы по оценке остаточного ресурса высокотемпературного энергетического оборудования паровой турбины К-200-130 мощностью 200 МВт блока № 9 ДТЭК «Луганская ТЭС» и продлена его эксплуатация на 50 тыс. ч.

Согласно нормативным документам Министерства энергетики и угольной промышленности Украины, парковый ресурс паровых турбин К-200-130 ЛМЗ равен 220 тыс. ч. при числе пусков 800 [1]. На сегодняшний день срок продления эксплуатации энергоблока № 9 ДТЭК «Луганская ТЭС» истек. Возникла необходимость оценки индивидуального ресурса паровой турбины с целью определения возможности повторного продления эксплуатации, особенностью которой является сверхпарковая наработка энергетического оборудования более

250 тыс. ч, наличие повреждений в виде трещин в роторах высокого (РВД) и среднего давления (РСД), а также работа оборудования в маневренных режимах при покрытии пиков электрической нагрузки.

**Целью работы** является обоснование допустимости последующей эксплуатации высокотемпературных элементов турбины энергоблока № 9 Луганской ТЭС. Произведено расчетное определение длительной прочности, сопротивления малоцикловой усталости и оценен индивидуальный остаточный ресурс роторов высокого и среднего давления.

**Анализ результатов контроля металла роторов высокого и среднего давления.**

За время эксплуатации контроль металла деталей турбины выполняли в период планово-предупредительных ремонтов. Выполняли следующие виды контроля: визуальный контроль с травлением галтельных переходов, дисков, рабочих лопаток, валов роторов ВД и СД, направ-

© О. Ю. ЧЕРНОУСЕНКО, Д. В. РЫНДЮК, В. А. ПЕШКО, 2018

ляющих лопаток и тела сварной диафрагмы, радиусных переходов. Для анализа возможности продления эксплуатации были представлены ротора РВД, РСД1 и РСД2, которые эксплуатировались на различных объектах ДТЭК Энерго.

В 2011 г. Государственное Донбасское предприятие по пуску, наладке, совершенствованию технологии и эксплуатации электростанций и сетей «ДонОРГРЭС» провело обследование РВД паровой турбины К-200-130-3, снятой с энергоблока № 15 Луганской ТЭС. В заключительном отчете по результатам визуального и ультразвукового контроля всех деталей ротора, а также магнитопорошковой дефектоскопии недопустимых дефектов не обнаружено.

Лабораторией металлов и сварки обособленного предприятия «Луганская ТЭС» ООО «ДТЭК ВОСТОКЭНЕРГО» в 2017 г. (Заключение № 62-17-20 от 17.02.2017 г.) выполнен вихретоковой контроль тепловых канавок РВД. По результатам контроля обнаружены трещины в канавках № 17–30 глубиной 4–7 мм. В ноябре 2017 г. выполнен повторный контроль после удаления трещин (Заключение № 730-17-20 от 17.11.2017 г.). В результате обнаружены трещины в канавках № 1–16 глубиной 8 мм, в канавках № 17–30 глубиной 11–14 мм (№ 27–12 мм, № 29–14 мм). Также был выполнен визуальный контроль галтельных переходов, дисков, рабочих лопаток, уплотнений, осевого канала и т.д. (Заключение № 84-17-20 от 01.03.2017 г.). По результатам контроля качество металла ротора со стороны осевого канала оценивается как удовлетворительное. Дефекты лопаток выбраны механическим способом и закруглены. Фактическая наработка РВД на ноябрь 2017 г. составила 222 438 ч., количество пусков – 2118.

Аналогичные работы были проведены для ротора среднего давления (РСД1) паровой турбины К-200-130-3, снятого с энергоблока № 13 Луганской ТЭС. Лабораторией металлов и сварки был выполнен оптико-визуальный контроль тепловых канавок уплотнений, а также дефектация ротора. Обнаружены кольцевые трещины, которые были устранены. Также проведен визуальный и ультразвуковой контроль, магнитопорошковая дефектоскопия осевого канала РСД. В заключительном отчете по результатам визуального и ультразвукового контроля всех деталей ротора, а также магнитопорошковой дефектоскопии недопустимых дефектов не обнаружено. Заключение по результатам визуального и измерительного контроля удовлетворительное. Фактическая наработка РСД1 на ноябрь 2017 г. составила 144596 ч., количество пусков – 927.

Наработка РСД2 на ноябрь 2017 г. составила 250264 ч., количество пусков – 1389. РСД2 демонтирован с энергоблока № 3 Кураховской ТЭС с наработкой 194890 ч и 860 пусков. На Луганскую ТЭС РСД был поставлен в 2007 г. в следующем состоянии: отсутствовали 13–16 ступени, бой составлял 0,16 мм, имелись кольцевые трещины глубиной до 4 мм по диску 13 ступени, осевой канал без дефектов. В ходе контроля 2007 г. были обнаружены трещины по тепловым канавкам, они проточены до глубины 10–14,5 мм. Трещины по диску 13 ступени выбраны до глубины 2,5 и 8 мм. В 2007 г. была выполнена работа НПО «ЦКТИ» по определению остаточного ресурса РСД, результатом которой стало продление эксплуатации на 25 000 ч., но не более 220 тыс. ч. Лабораторией металлов и сварки обособленного предприятия «Луганская ТЭС» ООО «ДТЭК ВОСТОКЭНЕРГО» в 2017 году при визуальном контроле обнаружена кольцевая трещина по диску 13 ступени. Контрольные проточки в двух местах до 8 мм и 10 мм от суммарной глубины 16 мм и 18 мм. Трещина продолжает развиваться. РСД ремонту не подлежит и не пригоден к дальнейшей эксплуатации.

По результатам проведенного технического аудита состояния металла высокотемпературных элементов все обнаруженные дефекты в процессе поверочного расчета при моделировании геометрии РВД, РСД1, РСД2 вносились в проектную конструкцию завода изготовителя.

**Расчетная оценка остаточного ресурса роторов высокого и среднего давления.** Моделирование теплового (ТС) и напряженно-деформированного состояний (НДС) высокотемпературных элементов паровой турбины К-200-130 блока № 9 ДТЭК «Луганская ТЭС» осуществлялось в трехмерной постановке на стационарных и пусковых режимах работы согласно [3, 4]. Для анализа НДС рассмотрены три режима: пуск из холодного состояния по типу ХС ( $t_{\text{омет}} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ ), из неостывшего состояния НС-1 ( $t_{\text{омет}} = 250 \text{ }^\circ\text{C}$ ) и из неостывшего состояния НС-2 ( $t_{\text{омет}} = 410 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

Численное исследование ТС и НДС высокотемпературных элементов паровой турбины К-200-130 блока № 9 ДТЭК «Луганская ТЭС» показало, что определяющий ресурсные характеристики энергетического оборудования уровень суммарных напряжений (температурных, от действия центробежных сил и давления пара) на номинальном режиме эксплуатации и при пусках из различных тепловых состояний возникает для РВД, РСД1 и РСД2 в зоне осевого канала, первых обойм концевых уплотнений, а также в галтелях регулирующей и первых трех ступеней давления.

Для РВД при пусках из НС-2 характерно возникновение зон максимальной интенсивности напряжений как в зоне 4-ой ступени давления РВД ( $\sigma_i = 159,2$  МПа) в момент времени 1900 с (нагрузка до 30 МВт), так и в зоне осевого отверстия и передних концевых уплотнений ( $\sigma_i = 162,7$  МПа) в момент выхода блока на номинальный режим.

При пусках из ХС для РВД наибольшие значения интенсивности напряжений наблюдаются у осевой расточки, на ободе диска регулирующей ступени и на валу в зоне передних концевых уплотнений. Значения максимальной интенсивности напряжений наблюдаются в зоне обода диска регулирующей ступени ( $\sigma_i = 309,6$  МПа) и передних концевых уплотнений ( $\sigma_i = 300,8$  МПа), при этом температура металла в этих точках составляет 385–389 °С в момент времени 4500 с, что соответствует набору номинального числа оборотов 3000 об/мин.

При пусках из НС-1 для РВД наибольшие значения интенсивности напряжений наблюдаются у осевой расточки ( $\sigma_i = 285,9$  МПа) в момент пуска (3400 с), а также на валу в зоне передних концевых уплотнений за обоймой № 2 ( $\sigma_i = 337,9$  МПа) в момент пуска (2400 с). При этом температура металла в этих точках составляет 385–390 °С.

Для РСД1 при пусках из НС-2 высокие значения градиента температур возникает в конце режима нагружения (6780 с), а также на этапе разворота ротора в момент набора оборотов 1200 об/мин (1900 с). Наибольшие значения интенсивности напряжений наблюдаются в зоне осевого отверстия ( $\sigma_i = 297,4$  МПа) и у корневой части диска перед 13-ой ступенью

( $\sigma_i = 324,4$  МПа). Значения размахов максимальной интенсивности напряжений, определяющие ресурс, приняты у корневой части диска перед 13-ой ступенью  $\sigma_i = 324,4$  МПа при температуре металла  $t_m = 399$  °С.

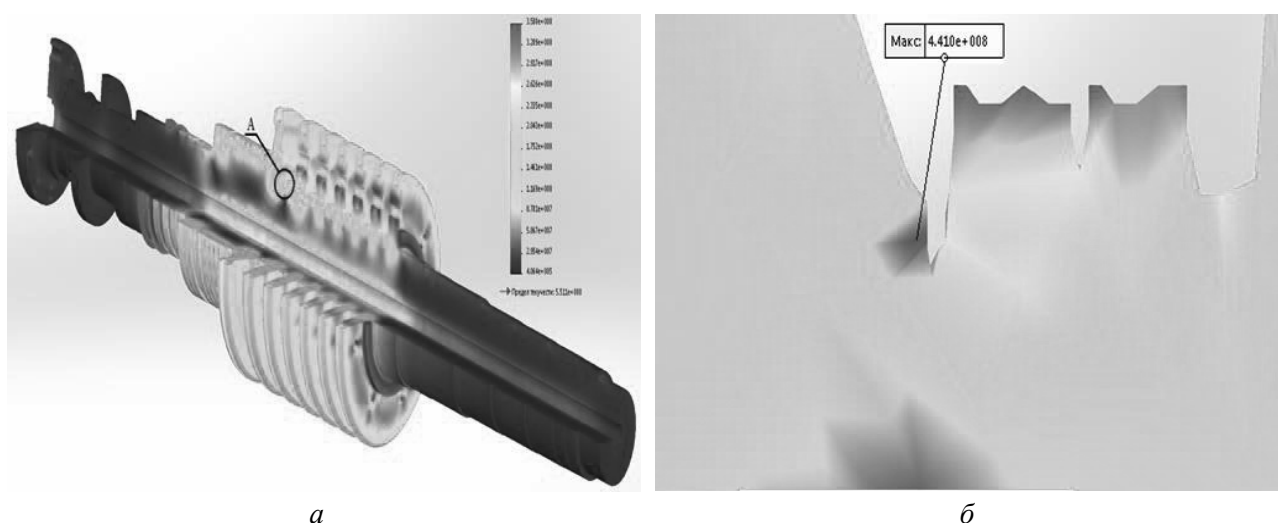
При пусках из ХС для РСД1 максимальный градиент температур возникает в начальные этапы пуска. Высокие значения интенсивности напряжений наблюдаются в зоне передних концевых уплотнений за обоймой № 2 ( $\sigma_i = 387,1$  МПа) и в зоне придисковой галтели за 13-ой ступенью ( $\sigma_i = 464,4$  МПа) при температуре металла  $t_m = 376$  °С.

Для РСД1 при пусках из НС-1 большие значения градиента температур возникают на этапе разворота ротора в момент нагружения до 30 МВт (3000 с). Наибольшие значения интенсивности напряжений наблюдаются в зоне передних концевых уплотнений ( $\sigma_i = 257$  МПа), в осевом отверстии ( $\sigma_i = 223$  МПа) и у корневой части диска за 13-ой ступенью, где интенсивности напряжений максимальны ( $\sigma_i = 267$  МПа).

При пусках из ХС для РСД2 высокие значения интенсивности напряжений наблюдаются в зоне передних концевых уплотнений за обоймой № 2 ( $\sigma_i = 345,1$  МПа) и в зоне придисковой галтели за 13-ой ступенью ( $\sigma_i = 441$  МПа).

В расчетной модели РСД-2 смоделирована трещина глубиной 18 мм (рис. 1). Интенсивность условных упругих напряжений в трещине составляет  $\sigma_i = 441,0$  МПа в момент времени 4500 с при пуске из ХС (3000 об/мин). В этот момент времени имеет место максимальный градиент температур (рис. 1).

Амплитуду деформации, согласно [5], определяли по значениям интенсивности деформации



**Рисунок 1.** Результаты расчета напряженно-деформированного состояния РСД-2 при пуске из ХС в момент времени 4500 с (3000 об/мин): а – общий вид; б – вид А

ций в течение цикла нагружения (исходное состояние – нагружение – номинальный режим – разгружение – исходное состояние). Количество циклов нагружения до появления трещин определяли по экспериментальным кривым малоциклового усталости, полученным по результатам испытаний образцов на растяжение – сжатие при жестком симметричном цикле и постоянной температуре.

Суммарная поврежденность  $P'$ , накопленная в металле роторов, работающих в условиях совместного действия ползучести при различных установившихся режимах и циклических нагрузок при различных переменных режимах, и остаточная наработка до появления трещины определялась согласно [6].

При расчетах на малоцикловую усталость РВД, РСД1 и РСД2 исследовали контрольные точки максимальных интенсивностей условных упругих напряжений. В исследуемых узлах рассчитывали интенсивности условных упругих напряжений, главные напряжения в течении всего времени пуска для всех типов пусков. Определяли временные точки для оценки поврежденности от малоциклового усталости и остаточного ресурса роторов, где размах интенсивности условных упругих напряжений был максимальным.

В расчетах на малоцикловую усталость запас по числу циклов и по деформациям принимается в соответствии с рекомендациями [5]  $n_N = 5$ ;  $n_\varepsilon = 1,5$ . Во втором случае эти же коэффициенты приняты на уровне  $n_N = 3$  и  $n_\varepsilon = 1,25$ . Такие значения получены в результате экспериментальных исследований [7] структуры и свойств металла с целью уточнения характеристик длительной прочности и запасов прочности. Проведены экспериментальные исследования на малоцикловую усталость образцов корпусной стали ЦВД и ЦСД, а также образцов роторной стали РСД паровой турбины К-210-130-3 «Луганская ТЭС» ПАО «Востокэнерго».

С учетом оценки малоциклового усталости металла РВД, РСД-1, РСД-2 паровой турбины К-200-130-3 расчетная оценка повреждаемости, остаточной допускаемой наработки в годах и индивидуального остаточного ресурса согласно рекомендациям [2, 5, 6] для энергоблока № 9 ДТЭК Луганская ТЭС представлена в табл. 1.

В случае, когда допустимое количество пусков  $[N_{p,}]$  приводит к значительному снижению ресурсных характеристик при коэффициентах запаса прочности по количеству циклов и по деформациям на уровне  $5 / 1,5$  (табл. 1 пункты 14,15), то по решению экспертной комиссии, состоящей из представителей электрической

станции и специализированных организаций, можно допустить снижение коэффициентов запаса прочности по количеству циклов и по деформациям на уровне  $3 / 1,25$ , учитывая данные экспериментальных исследований КПИ имени Игоря Сикорского и Института проблем прочности НАН Украины [8].

Допускаемое время работы металла выбирается по диаграммам длительной прочности [3, 4] и составляет 370 тыс. ч. при расчете статической поврежденности согласно [5, 6]. С учетом проведенных экспериментальных исследований [7, 8] допускаемое время работы металла можно увеличить до 450 тыс. ч. (табл. 1, пункт 12), тогда остаточный ресурс увеличится. Такой подход можно допустить лишь в случае положительного решения экспертной комиссии.

Реальные значения повреждаемости могут иметь тенденцию к увеличению по следующим причинам: остановки с принудительным расхолаживанием могут увеличивать амплитуду напряжений; при наработке оборудования более 200 тыс. ч. имеет место некоторая деградация свойств металла; отклонение реальных пусковых графиков от графиков, определенных инструкцией по эксплуатации за счет влияния человеческого фактора; отсутствие полных данных о реальном состоянии металла роторов в данный момент эксплуатации.

Таким образом, суммарная поврежденность металла РВД турбоагрегата К-200-130 энергоблока № 9 ДТЭК Луганская ТЭС составляет 105%, РСД1 – 86%, РСД2 – 138% при коэффициентах запаса прочности по количеству циклов и по деформациям на уровне 5 и 1,5, а также допускаемом времени работы металла 370 тыс. ч. (табл. 1). Если суммарная поврежденность металла РВД и РСД2 больше 100%, то дальнейшая эксплуатация оборудования не возможна согласно рекомендациям [2].

При коэффициентах запаса прочности по количеству циклов и по деформациям на уровне 3 и 1,25, а также допускаемом времени работы металла 370 тыс. ч. суммарная поврежденность РВД находится на уровне 77,39%, РСД1 – 66,97%, а РСД2 – 97,41%. Допустимое дополнительное расчетное число пусков для ротора РСД1 составит порядка 523 пусков, для РСД2 – 251 пуск, а для РВД – 582 пуска в самом консервативном случае минимального допустимого из всех видов расчетного числа пусков (табл. 1).

Запасы кратковременной статической прочности роторов нигде не выходят за пределы допустимых ( $n'_r, n''_r \geq 1,6$ ) согласно п.п. 5, 6 табл. 1. Если ЭК может допустить снижение коэффициентов запаса прочности по количеству циклов

**Таблица 1 – Расчетная оценка поврежденности, остаточной наработки в годах и индивидуального ресурса роторов РВД и РСД энергоблока ст. № 9 Луганской ТЭС**

№	Показатель	Формула	РВД		РСД-1		РСД-2	
1.	Температура металла	$t, ^\circ\text{C}$	500		500		500	
2.	Интенсивность напряжений	$\sigma_{\text{imax}}, \text{МПа}$	116,0		105,5		120,0	
3.	Предел текучести	$\sigma_{02}^B, \text{МПа}$	400,0		397,0		405,0	
4.	Номин. эквив. напряжения	$\sigma_3, \text{МПа}$	171,0		184,0		180,0	
5.	Запас прочности по $\sigma_{\text{imax}}$	$n'_T = \sigma_{02}^B / \sigma_{\text{imax}}$	3,45		3,11		3,38	
6.	Запас прочности по $\sigma_3$	$n''_T = \sigma_{02}^B / \sigma_3$	2,35		2,16		2,25	
7.	Коэффициенты запаса	$n_N \setminus n_e$	3\1,25	5\1,5	3\1,25	5\1,5	3\1,25	5\1,5
8.	Допускаемое число циклов по различ. типам пусков	$[N_{pl}] \text{ HC-2}$	$>10^4$	6800	3000	1800	3000	1800
		$[N_{pl}] \text{ HC-1}$	$>10^4$	7100	7500	4800	7500	4800
		$[N_{pl}] \text{ XC}$	2700	1800	2600	1450	2600	1450
9.	Циклическая поврежденность	$[\Pi_{ци}] = \sum n_i / [N_{pl}]$	0,172	0,453	0,2789	0,4698	0,4179	0,704
10.	Наработка	$T, \text{ч}$	222438		144596		250264	
11.	Число часов в год	$\tau_{\text{год}} = T/z$	6111,0		6111,0		6111,0	
12.	Допускаемое время работы	$[t_{pl}] \times 10^5, \text{ч}$	3,7	3,7	3,7	3,7	4,5	3,7
13.	Статическая поврежденность	$[\Pi_{ст}] = \sum \tau_{\text{общ}} / [t_{pl}], \%$	0,601	0,601	0,391	0,391	0,5561	0,676
14.	Суммарная поврежденность	$[\Pi_{\Sigma}] = [\Pi_{ст}] + [\Pi_{ци}], \%$	0,7739	1,0549	0,6697	0,8606	0,9741	1,380
15.	Годовая поврежденность	$[\Pi_T] = [\Pi_{\Sigma}] / z$	0,0161	0,0219	0,0152	0,0159	0,0180	0,025
16.	Остаточный ресурс	$T_{\text{ост}} = 1 - [\Pi_T] / ([\Pi_T] \times \tau_{\text{год}}), \text{ч}$	85699	<0	64562	23419	6657	<0

и по деформациям на уровне 3 \ 1,25, а также принять допускаемое время работы металла на уровне 370 тыс. ч, то остаточный ресурс металла РВД турбоагрегата К-200-130 энергоблока № 9 ДТЭК Луганская ТЭС составляет 85699 ч, ротора РСД1 – 64562 ч, а ротора РСД2 – 6657 ч. Это позволит продлить эксплуатацию РВД и РСД1 на 50 тыс. ч. при числе пусков, равном половине паркового, т.е. 400 пусков. Для РСД2 дальнейшая эксплуатация не допускается.

### ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Расчеты на малоцикловую усталость и статическую поврежденность роторов РВД, РСД1 и РСД2 паровой турбины К-200-130-3 блока № 9 ДТЭК «Луганская ТЭС» показали, при коэффициентах запаса прочности по количеству циклов и по деформациям на уровне 5 и 1,5, а также допускаемом времени работы металла 370 тыс. ч суммарная поврежденность металла

ротора РВД находится на уровне 105%, РСД1 – 86%, а РСД2 – 138%. При коэффициентах запаса прочности по количеству циклов и по деформациям на уровне 3 и 1,25, а также допускаемом времени работы металла 370 тыс. ч суммарная поврежденность металла РВД находится на уровне 77%, РСД1 – 67%, а РСД2 – 97%.

2. Проведенные экспериментальные исследования в области длительной прочности и малоцикловой усталости основного металла турбин серии К-200-130, имеющих сверхпарковые наработки, свидетельствуют о возможности снижения коэффициентов запаса прочности. Однако рекомендуется провести серию экспериментов с использованием металла конкретно исследуемой турбоустановки. Если же ЭК может допустить снижение коэффициентов запаса прочности, то остаточный ресурс металла РВД составляет 85699 ч, РСД1 – 64562 ч, а РСД2 – 6657 ч. Это позволит продлить эксплуатацию

РВД и РСД1 на 50 тыс. ч. при числе пусков, равном половине паркового, т.е. 400 пусков. Для РСД2 дальнейшая эксплуатация не допускается.

3. Рекомендуются при пусковых режимах из неостывшего состояния по типу НС-2 нагужение вести по графику НС-1 с повышением предтолчковой температуры свежего пара и пара промперегрева до 450–500 °С. При пуске турбины по типу НС-2 в ЦСД подавать пар более высокой температуры на переднее уплотнение (порядка 400 °С). Оптимизировать количество пусков по типу ХС в сторону уменьшения.

4. Рекомендуются провести модернизацию системы контроля основных параметров турбины с обязательной регистрацией параметров, влияющих на надежность турбины. Внедрить системы мониторинга виброактивности турбоагрегатов с диагностикой состояния элементов валопровода, в том числе и на наличие трещин в роторе.

1. СОУ-Н МПЕ 40.17.401:2004. Контроль металлу і продовження терміну експлуатації основних елементів котлів, турбін і трубопроводів теплових електростанцій. К.: ГРІФРЕ, 2005. 76 с.
2. СОУ-Н МЕВ 40.1-21677681-52:2011. Визначення розрахункового ресурсу та оцінки живучості роторів та корпусних деталей турбіни: методичні вказівки. К: Міненерговугілля України, 2011. 24 с.
3. Черноусенко О.Ю., Пешко В.А. Расчетное исследование теплового и напряженно-деформированного состояния ротора высокого давления турбины Т-100/120-130 ст. № 1 ПАО «Харьковская ТЭЦ-5». *Вісник НТУ «ХПИ». Серія:*

*Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування*. 2017. № 9(1231). С. 34–40. <https://doi.org/10.20998/2078-774X.2017.09.05>.

4. Черноусенко О.Ю. Пешко В.А. Оценка малоциклового усталости, поврежденности и остаточного ресурса ротора высокого давления турбины Т-100/120-130 ст. № 1 ПАО «Харьковская ТЭЦ-5». *Вісник НТУ «ХПИ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування*. 2017. № 10 (1232). С. 29–37. <https://doi.org/10.20998/2078-774X.2017.10.04>.

5. РТМ 108.021.103. Детали паровых стационарных турбин. Расчет на малоцикловую усталость. М., 1985. № АЗ-002/7382. 49 с.

6. 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. М., 1996. 98 с.

7. Peshko, V, Chernousenko, O., Nikulenkova T. et. al. (2016). Comprehensive rotor service life study for high & intermediate pressure cylinders of high power steam turbines. *Propulsion and Power Research. China: National Laboratory for Aeronautics and Astronautics*, 2016. Vol. 5, Issue 4. P. 302–309.

8. Черноусенко О. Ю., Пешко В.А. Вплив роботи енергоблоків ТЕС в маневреному режимі на вичерпання ресурсу енергетичного обладнання. *Вісник НТУ «ХПИ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування*. 2016. № 10(1182). С. 6–17. <https://doi.org/10.20998/2078-774X.2016.10.01>.

*Поступила в редколлегию 22.05.2018*