

УДК 621.165.62-192

**О. Ю. ЧЕРНОУСЕНКО**, д-р техн. наук, проф.; проф. НТУУ «КПІ», Київ;  
**В. А. ПЕШКО**, магістрант НТУУ «КПІ», Київ

## УПРАВЛЕНИЕ РЕСУРСОМ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ ПАРОВЫХ ТУРБИН

Расчетное исследование ресурсных характеристик высокотемпературных корпусных элементов паровой турбины позволяет управлять остаточным ресурсом. Управление остаточным ресурсом обеспечивается изменением режимов эксплуатации, усовершенствованием тепловой схемы, удалением поврежденного металла, изменением конструкции в объемах расширенного капитального ремонта оборудования и т.д. Подача горячего пара соседних энергоблоков на передние концевые уплотнения ЦВД и ЦСД паровой турбины К-200-130 ЛМЗ вызовет улучшение ресурсных характеристик корпусов высокого и среднего давления более, чем на 50 %.

**Ключевые слова:** управление ресурсом, остаточный ресурс, высокотемпературные элементы паровой турбины, корпус, цилиндр высокого давления, цилиндр среднего давления, тепловая схема ТЭС.

**Введение.** Большинство стационарных паровых турбин Украины мощностью 200 МВт выработали парковый ресурс [1–3]. В условиях работы в базовых и маневренных режимах управление остаточным ресурсом корпусных деталей паровых турбин важно для обеспечения надежного энергопотребления и снижения затрат на ввод новых энергоблоков.

**Анализ основных достижений и литературы.** Успешное решение задачи управления остаточным ресурсом возможно как при оснащении турбин современными автоматизированными системами диагностики технического состояния, так и при организации эксплуатационных мероприятий по улучшению ресурсных характеристик высокотемпературных элементов турбины К-200-130.

**Цель исследования, постановка задачи.** В данной работе приводится расчетное исследование ресурсных характеристик высокотемпературных корпусных элементов паровой турбины К-200-130 ЛМЗ, что позволяет управлять остаточным ресурсом [4–6]. Управление остаточным ресурсом обеспечивается изменением режимов эксплуатации, усовершенствованием тепловой схемы, удалением поврежденного металла, изменением конструкции в объемах расширенного капитального ремонта оборудования и т.д. Эти мероприятия надо проводить в рамках поузловой реконструкции оборудования электростанций.

**Материалы исследования.** С целью улучшения условий прогрева на пусках из неостывшего и горячего состояний (температура металла в начальный момент пуска порядка 405–460 °С) проведена модернизация схемы подачи пара на уплотнения ЦВД и ЦСД. По данным ТЭС при изменении схемы подачи пара на уплотнения рабочим паром для уплотнений турбины есть горячий пар с температурой 490–500 °С от горячей нитки соседних блоков, подведенный от выпара деаэраторов с давлением 0,6 МПа (рис. 1). Резервным является пар от общего коллектора уплотнений котлотурбинного цеха от выпара деаэраторов 0,6 МПа каждого блока. Через регулятор давления на концевые уплотнения турбины пар подводится в коллектор уплотнений, где поддерживается давление 0,015–0,020 МПа. Для поддержания температуры пара на уплотнениях в пределах 150–200 °С имеется перемычка от соединительной магистрали. Из крайних камер уплотнений паровоздушная смесь отсасывается эжектором в вакуумный охладитель пара ПС-50. Рабочей средой эжектора является пар,

© О.Ю. Черноусенко, В.А. Пешко, 2015

поступающий от выпара деаэратора с давлением 0,6 МПа. В охладителе ПС-50 поддерживается давление 0,095–0,097 МПа. Из промежуточных камер уплотнений производится отвод пара в охладитель ПН-100. Кроме этого, имеется отвод пара из переднего уплотнения ЦВД во второй отбор, а из камер переднего уплотнения ЦСД – в четвертый отбор. На этих отсосах имеются задвижки, которые при нормальных режимах работы находятся в открытом положении. Задвижки закрываются только в том случае, когда подается пар на передние уплотнения ЦВД и ЦСД, для предупреждения повышения недопустимой разницы температуры металла между верхом и низом ЦВД, ЦСД и укорочения роторов ВД и СД. При сбросах нагрузки и пусках из ГС предусмотрен подвод пара от горячей нитки соседних блоков в первые камеры передних уплотнений ЦВД и ЦСД. Температура пара, подаваемого на концевые уплотнения турбины при пуске из холодного состояния, не должна подниматься выше 130–150 °С. Пропаривание с торцов концевых уплотнений не допускается.

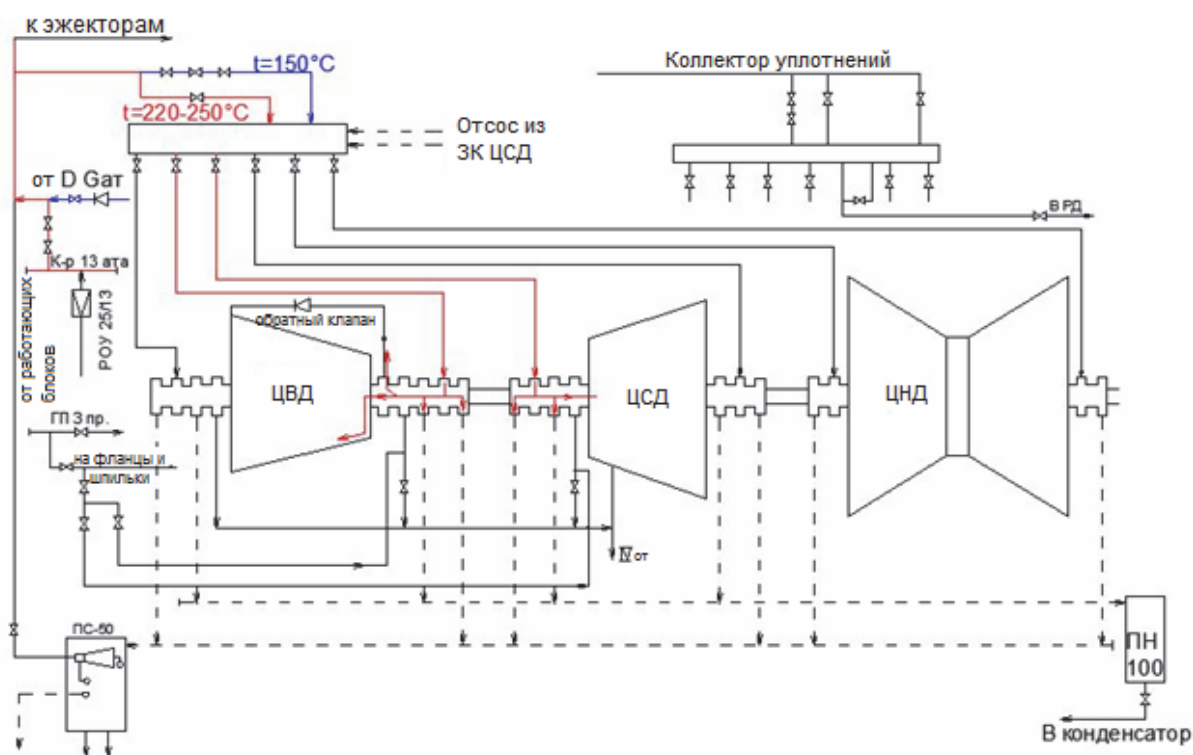


Рис. 1 – Схема уплотнений турбины: ЦВД – цилиндр высокого давления; ЦСД – цилиндр среднего давления; ЦНД – цилиндр низкого давления; ЗК – защитный клапан; РД – расширитель дренажа; ГПЗ пр. – паропровод главной паровой задвижки; ПС-50 – вакуумный охладитель пара; ПН 100 – охладитель пара; IV от – 4-й отбор пара; РОУ – редукционно-охлаждающая установка; К-р – коллектор; D – деаэратор; Гат – расход пара

При пуске из горячего состояния в концевые уплотнения турбины подается горячий пар с температурой 490–500 °С от горячей нитки соседних блоков, потому что подача его из деаэраторов с температурой порядка 130–140 °С вызовет в головной части ЦВД и ЦСД резкое охлаждение металла, что способствует деформации цилиндра. Кроме того, проникая в цилиндр, такой «холодный» пар может вызвать резкое увеличение разности температур металла верха и низа цилиндра за счет интенсивного охлаждения его нижней половины.

Лучше всего подавать на уплотнения пар с температурой, близкой к температуре металла (хотя бы в рамках  $\pm 30^{\circ}\text{C}$ ), поэтому на уплотнения подается пар от общей

магистрالی цеха. Самыми горячими, даже после длительного охлаждения, являются передние уплотнения ЦВД и ЦСД, а наиболее холодными бывают концевые уплотнения ЦНД.

**Результаты исследования.** Для сравнения влияния подачи горячего пара на уплотнения ЦВД и ЦСД на оценку остаточного ресурса корпусов использованы данные расчетов теплового и напряженно-деформированного состояния паровой турбины К-200-130 энергоблока ст. № 4 Кураховской ТЭС, где применена подача холодного пара на уплотнения, и паровой турбины К-200-130 энергоблока ст. № 13 Луганской ТЭС, где использована выше описанная схема подачи пара. Изменение схемы подачи пара на уплотнения при пуске из неостывшего состояния (НС-2) в ЦВД вызовет увеличение градиентов температур в корпусе в зоне передних концевых уплотнений (т. 2 рис. 2а) в 2,5 раза (рис. 2в,г) и в зоне паровпуска (т. 4 рис. 2а и т. 3 рис. 2б) в 2 раза. Другие характерные точки корпуса (т. 1, 5, 6) при подаче горячего пара имеют значительно меньший градиент температур порядка 16 %. Однако различие в градиентах температур для ЦВД с подводом горячего пара на уплотнения существенно меньше по длине корпуса (т. 2, 3, 4, 5 на рис. 2г), чем в случае подвода холодного пара (т. 2, 3, 4, 5 на рис. 2в).

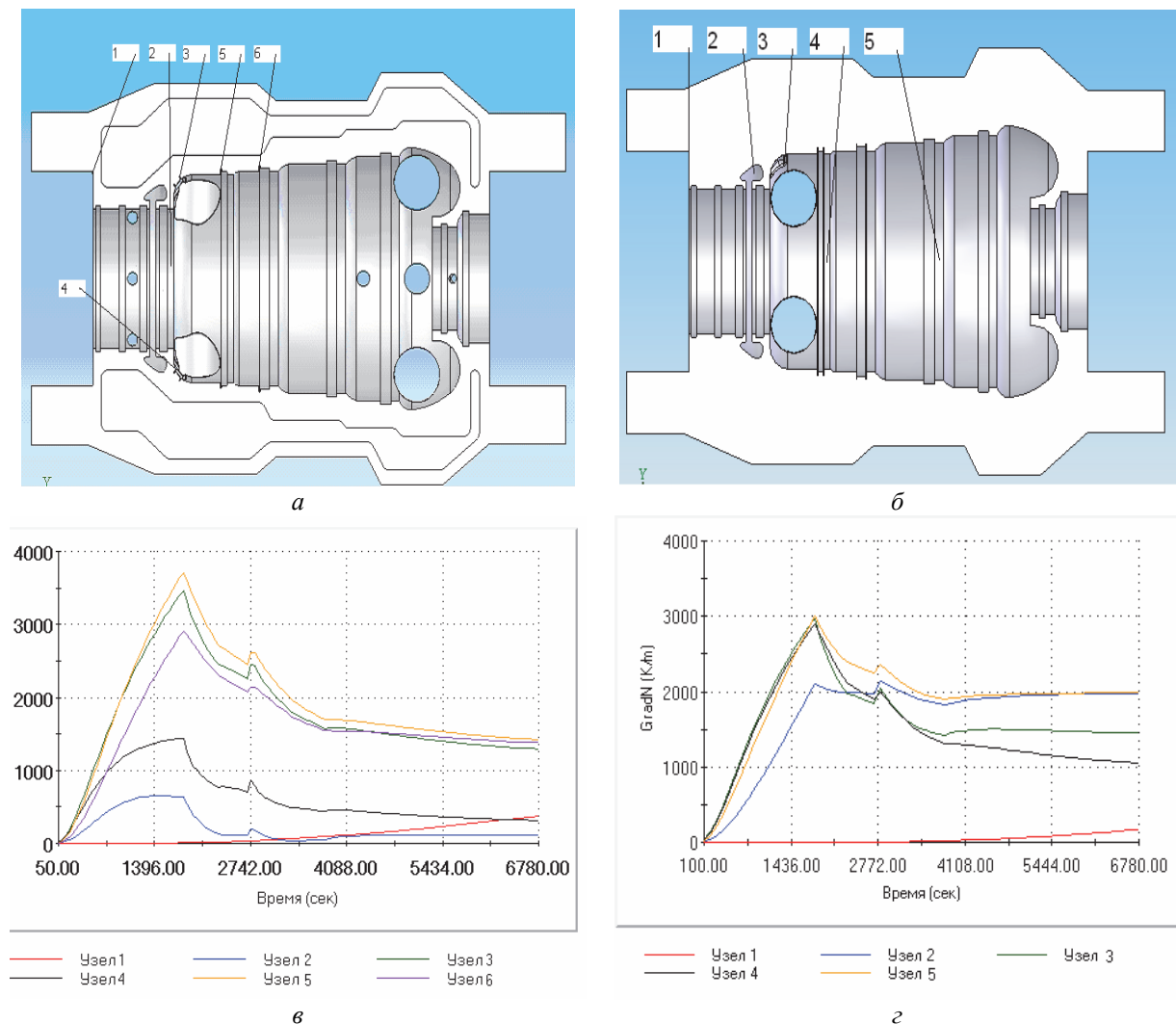


Рис. 2 – Пуск НС-2 для турбины К-200-130-3: характерные сечения ЦВД:  
 а – ст. № 4 КТЭС; б – ст. № 13 ЛТЭС; градиент температур: в – № 4 КТЭС; г – № 13 ЛТЭС

Інтенсивності умовних еластичних напружень ЦВД зменшуються на 26 % в початкові періоди пуску при подачі гарячого пари на ущільнення порівняно з подачею холодного пари. В процесі пуску змінення інтенсивності умовних еластичних напружень становить порядку 9 %. Зниження інтенсивності умовних еластичних напружень з  $\sigma_{i\max} = 903$  МПа до  $\sigma_{i\max} = 668$  МПа (на 26 %) покращує ресурсні характеристики ЦВД порівняно зі схемою подачі холодного пари на передні кінцеві ущільнення.

Вплив подачі гарячого пари на ущільнення ЦВД досліджено на прикладі парової турбіни К-200-130 ст. № 4 КТЭС і ст. № 13 ЛТЭС. Градієнти температури в характерних точках ЦВД змінюються незначительно (рис. 3). В зоні паровпуску на внутрішній поверхні корпусу (т. 4 рис. 3а і т. 3 рис. 3б) зменшення градієнта становить 16 %.

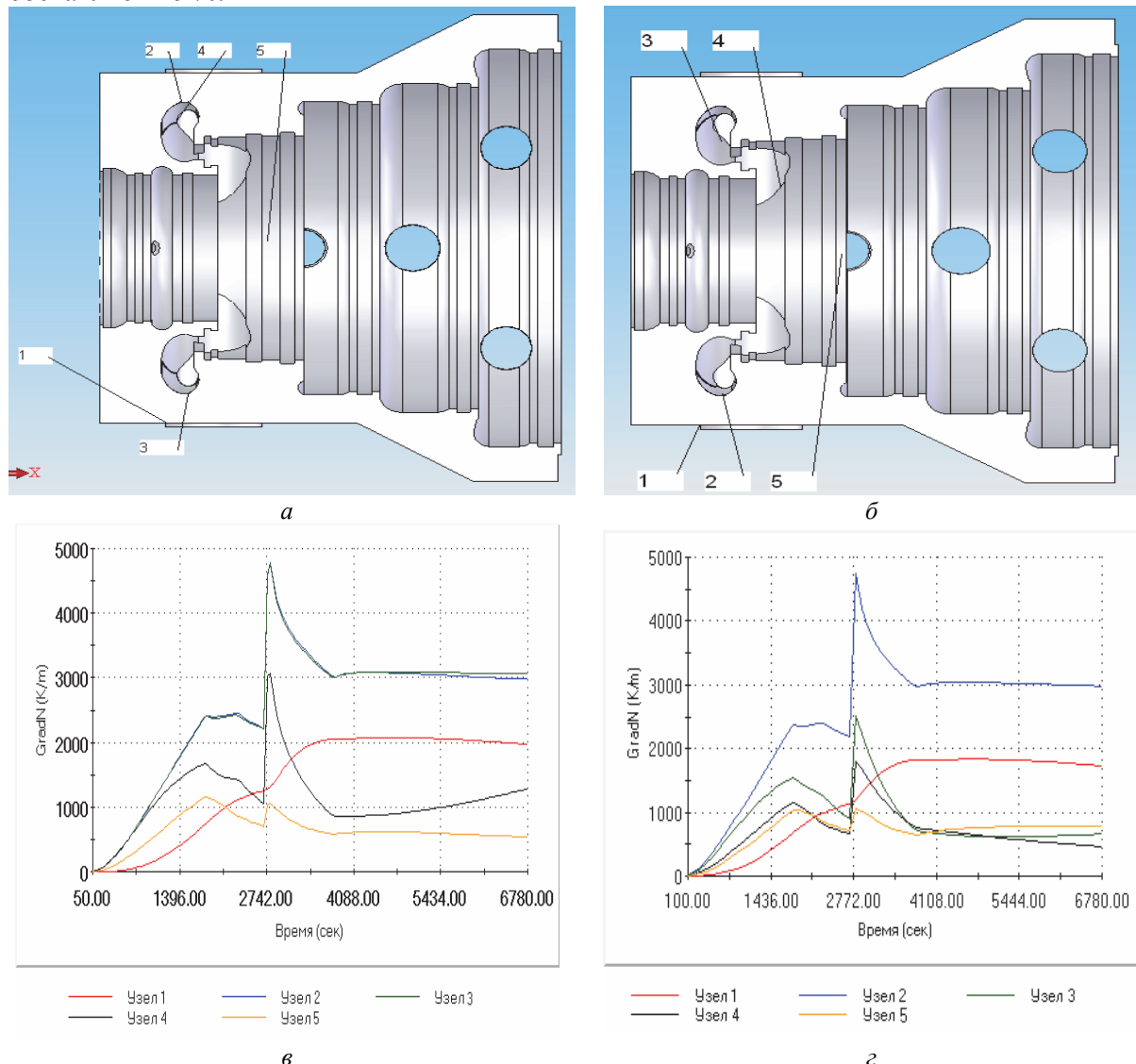


Рис. 3 – Пуск НС-2 турбіни К-200-130: характерні сечення ЦВД: а – ст. № 4 КТЭС; б – ст. № 13 ЛТЭС; градієнт температур ЦВД: в – № 4 КТЭС; г – № 13 ЛТЭС

Поврежденность корпуса ЦВД (горячий пар на передні кінцеві ущільнення) становить 41 %, а для корпусу ЦВД (холодний пар на передні кінцеві ущільнення)

равна 64 %. Остаточный ресурс увеличивается с 103403 часов до 236091 часа при подаче горячего пара на уплотнения.

Тепловое состояние ЦСД ст. № 4 КТЭС и ст. № 13 ЛТЭС при выходе на номинальный режим практически не отличается, а интенсивность условных упругих напряжений снижается на 9 % (с 863 МПа до 786 МПа). Например, интенсивность условных упругих напряжений в характерной точке (т. 2) ЦСД ст. № 4 КТЭС возрастает в процессе пуска от 415 МПа в момент времени  $\tau = 1800$  с до 863 МПа в конце пуска  $\tau = 6800$  с (рис. 4).

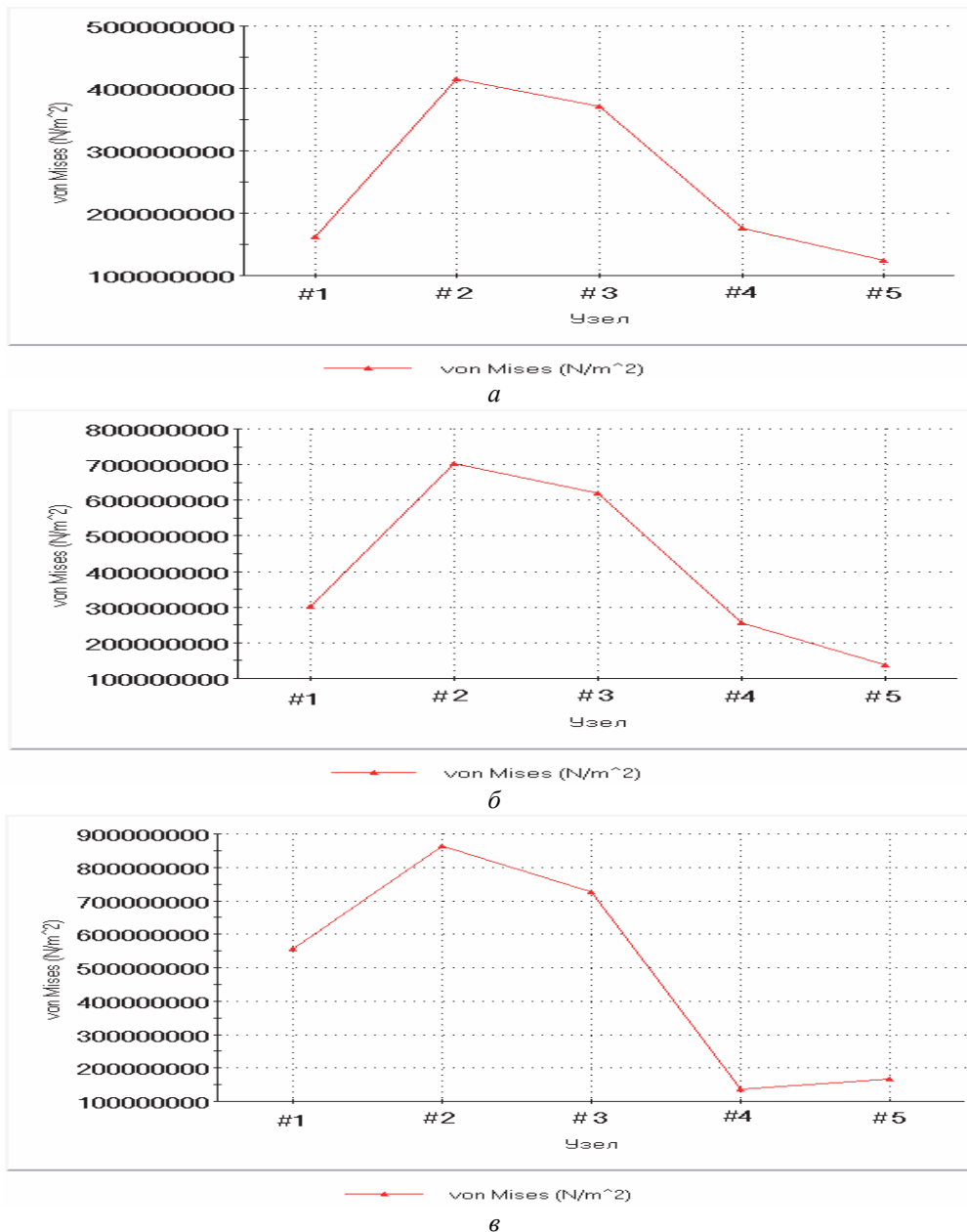


Рис. 4 – Интенсивности условных упругих напряжений при пуске из НС-2 ЦСД турбины К-200-130 ст. № 4 КТЭС:  
 а –  $\tau = 1800$  с; б –  $\tau = 2800$  с; в –  $\tau = 6800$  с

**Обсуждение результатов.** Максимальное снижение интенсивности условных упругих напряжений наблюдается для ЦСД в момент времени  $\tau = 2800$  с и равно 13 %. Интенсивность условных упругих напряжений ЦСД ст. № 4 КТЭС составляет 704 МПа и уменьшается до 615 МПа для ЦСД ст. № 13 ЛТЭС при  $\tau = 2800$  с при подаче горячего пара на уплотнения, поврежденность снижается с 56 % до 36 %.

Такая модернизация схемы ПТУ К-200-130 позволяет улучшить ресурсные характеристики ЦСД и при незначительных затратах продлить срок эксплуатации энергетического оборудования.

#### **Выводы**

Подача горячего пара соседних энергоблоков на передние концевые уплотнения ЦВД и ЦСД паровой турбины К-200-130 ЛМЗ вызовет улучшение ресурсных характеристик корпусов ЦВД и ЦСД более, чем на 50 %.

Проблема дальнейшего обоснованного продления эксплуатации теплонапряженных элементов должна решаться путем совершенствования режимов эксплуатации, схемных модернизаций и конструктивных изменений в этих элементах. Надо использовать полноценный контроль всех нагружающих факторов, совершенствование расчетных методов оценки остаточного ресурса, а также анализ реальных особенностей эксплуатации на основе полноценной документации.

**Список литературы:** 1. НД МПЕ України. Контроль металу і продовження терміну експлуатації основних елементів котлів, турбін і трубопроводів теплових електростанцій [Текст]. – Типова інструкція. СОУ-Н МПЕ 40.17.401:2004. 2. РТМ 108.021.103. Детали паровых стационарных турбин. Расчет на малоцикловую усталость [Текст]. – М., 1985. – № АЗ-002/7382. – 49 с. 3. 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. 4. Черноусенко, О. Ю. Оценка малоциклового усталости паровой турбины К-200-130-3 с применением программного комплекса ANSYS и COSMOS [Текст] / О. Ю. Черноусенко, Е. В. Штефан, Д. В. Рындюк, Д. С. Третяк // Энергетика и электрификация. – 2008. – № 3. – С. 42–48. 5. Черноусенко, О. Ю. Обобщение и анализ результатов расчётного исследования индивидуального ресурса корпусов и роторов ЦВД и ЦСД турбины К-200-130 блока 200 МВт [Текст] / О. Ю. Черноусенко // Энергетические и теплотехнические процессы и оборудование. Вестник НТУ «ХПИ»: сб. научн. трудов. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2008. – № 6. – С. 107–111. 6. Черноусенко, О. Ю. Комплексная оценка остаточного ресурса паровых турбин на примере К-200-130 [Текст] / О. Ю. Черноусенко // Совершенствование турбоустановок методами математического и физического моделирования: сб научн. трудов. – Харьков: ИПМаш им. Подгорного НАНУ, 2010. – № 4. – С. 128–134. – ISSN 0556-171X

**Bibliography (transliterated):** 1. ND MPE Ukrainy. Kontrol' metalu i prodovzhennja terminu ekspluatacii' osnovnyh elementiv kotliv, turbin i truboprovodiv teplovyh elektrostancij. Typova instrukcija. SOU-N MPE 40.17.401:2004. Print. 2. RTM 108.021.103. Detali parovyh stacionarnyh turbin. Raschet na malociklovuju ustalost'. No AZ-002/7382. Moscow, 1985. Print. 3. RD 34.17.440-96. Metodicheskie ukazanija o porjadke provedenija rabot pri ocenke individual'nogo resursa parovyh turbin i prodlenii sroka ih jekspluatacii sverh parkovogo resursa. Moscow, 1996. Print. 4. Chernousenko, O. Ju., et al. "Ocenka malociklovoj ustalosti parovoj turbiny K-200-130-3 s primeneniem programmnoho kompleksa ANSYS i COSMOS." *Jenergetika i jelektrifikacija*. No 3. 2008. 42–48. Print. 5. Chernousenko, O. Ju. "Obobshhenie i analiz rezul'tatov raschetnogo issledovanija individual'nogo resursa korpusov i rotorov CVD i CSD turbiny K-200-130 bloka 200 MVt." *Jenergeticheskie i teplotehnicheskie processy i oborudovanie. Vestnik NTU «HPI»*: sb. nauchn. trudov. No 6. Kharkov: NTU «HPI», 2008. 107–111. Print. 6. Chernousenko, O. Ju. "Kompleksnaja ocenka ostatochnogo resursa parovyh turbin na primere K-200-130." *Sovershenstvovanie turboustanovok metodami matematicheskogo i fizicheskogo modelirovanija*: sb nauchn. trudov. No 4. Kharkov: IPMash NAS of Ukraine, 2010. 128–134. ISSN 0556-171X

*Поступила (received) 01.02.2015*