

Е.Н.Письменный¹, д-р.техн.наук, О.Ю.Черноусенко¹, канд.техн.наук,
Е.В. Штефан², канд. техн. наук, Д.И Рындюк., аспирант, Д.И Третьяк., ас
1-НТУ Украины «Киевский политехнический институт», г.Киев, Украина;
2-Национальный университет пищевых технологий «НУПТ» г.Киев, Украина

**РАСЧЕТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАЛОЦИКЛОВОЙ УСТАЛОСТИ
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ
МОЩНОСТЬЮ 200МВт С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА
ANSYS И COSMOSWORKS**

Наведена розрахункова оцінка індивідуального ресурсу парової турбіни К-200-130 з визначенням теплового стану (ТС), напружено-деформованного стану (НДС) та малоциклової утомлюваності корпусів, роторів, стопорних клапанів ЦВТ та ЦСТ при характерних режимах роботи енергоблоку з використанням програмних комплексів SOLIDWORKS, ANSYS та COSMOSWORKS у тривимірній постановці.

The calculated estimation of individual resource of steam turbine K-200-130 is offered with calculating heat state (HS), stressed-deformed state (SDS), and little cycle of lassitude of corps, rotors, catch valves of CHP and CMP for exploitation modes energy blokes with using programmer complexes SOLIDWORKS, ANSYS and COSMOSWORKS in 3-D(three dimensional).

Постановка задачи и анализ состояния вопроса. Стационарные паровые турбины мощностью 200...300 МВт выработали парковый ресурс [1- 2]. В Украине эксплуатируются 43 энергоблока с турбинами К-200-130 и К-210-130 различных модификаций. К настоящему времени наработка значительной части турбин К-200-130 превзошла или приближается к наработкам около 200000 ч. В условиях работы в базовом режиме и при регулировании графика электрической нагрузки повышение их безопасности и надежности приобретает первостепенное значение [3-5]. Успешное ее решение возможно только при оснащении турбин современными автоматизированными системами диагностики технического состояния (АСТД). При этом определение ресурса наиболее ответственных и дорогостоящих высокотемпературных роторов и корпусов цилиндров высокого давления (ЦВД) и цилиндров среднего давления (ЦСД) в режиме on-line позволит перейти к прогнозированной эксплуатации и предупреждению разрушений.

Для продления сроков эксплуатации энергоблоков 200 МВт необходимо определить индивидуальный ресурс турбины К-200-130-3 на основе комплексного подхода, сочетающего результаты разрушающего и неразрушающего контроля металла с поверочными расчетами на прочность и долговечность [1].

Цель работы. При оценке индивидуального ресурса паровых турбин большой мощности и создании автоматизированной системы диагностики технического состояния паровых турбин, включающей мониторинг теплового, напряженно деформированного состояний и расчетное исследование малоциклового усталости основных элементов паровой турбины большой мощности, необходимо разработать

расчетную методику определения поврежденности от воздействия малоциклового усталости.

Для определения индивидуального ресурса турбины К-200-130 выполнена расчетная оценка теплового состояния (ТС), а также напряженно-деформированного состояния (НДС) и малоциклового усталости корпусов ЦВД, ЦСД, роторов высокого давления (РВД) и роторов среднего давления (РСД), а также корпусов автоматизированного стопорного клапана (АСК) ЦВД и автоматизированного защитного клапана (АЗК) ЦСД при характерных режимах работы.

Моделирование теплового и напряженно-деформированного состояний роторов и корпусов ЦВД и ЦСД осуществляли в трехмерной постановке. Технологические особенности режимов работы учитывали заданием тепловых граничных условий III рода и объемных центробежных усилий в расчетных элементах роторов. Коэффициенты теплоотдачи α вычисляли по рекомендациям РТМ [8].

В данной работе приводится краткое описание методики определения поврежденности от воздействия малоциклового усталости высокотемпературных роторов и корпусов цилиндра высокого давления ЦВД и среднего давления ЦСД, разработанной и апробированной НТУУ “КПИ” и НУПТ.

Использование компьютерных технологий для определения расчетного ресурса высокотемпературных элементов турбоустановки К-200-130-3. В данной работе ресурс элементов турбоустановки связывается с количеством ее штатных эксплуатационных режимов до появления макроразрушений (трещин) в металле. Для определения ресурса разработана методика, которая основана на использовании методов математического моделирования:

- нестационарного напряженно-деформированного состояния элементов паровой турбины (корпуса и ротора ЦВД и ЦСД, автоматизированные стопорные клапаны ЦВД);
- малоциклового усталости металла, обусловленной знакопеременным характером напряжений для конкретного режима эксплуатации турбоустановки.

На первом этапе осуществляется создание геометрических моделей, соответствующих конструктивным элементам (рис.1) с использованием программного продукта *Solidworks*. При этом учитываются технологические выборки материала при механической обработке трещин на поверхностях конструкций в местах, указанных согласно данных визуального контроля и МПД высокотемпературных элементов цилиндров паровых турбин. Данные по технологическим выборкам и трещинам получены от эксплуатирующих организаций и электрических станций при планово-предупредительных ремонтах.

На втором этапе на базе созданных геометрических 3-D моделей при помощи цифровых моделей *ANSYS* и *COSMOSWorks* решается краевая задача нестационарной теплопроводности путем задания начальной температуры и граничных условий на поверхностях корпусов ЦВД и ЦСД, роторов РВД и РСД, а также АСК ЦВД. Начальная температура и граничные условия соответствуют эксплуатационным режимам ХС, НС-1, НС-2. При решении нестационарной задачи теплопроводности учитываются реальные тепло - физические характеристики металла корпусов и роторов.

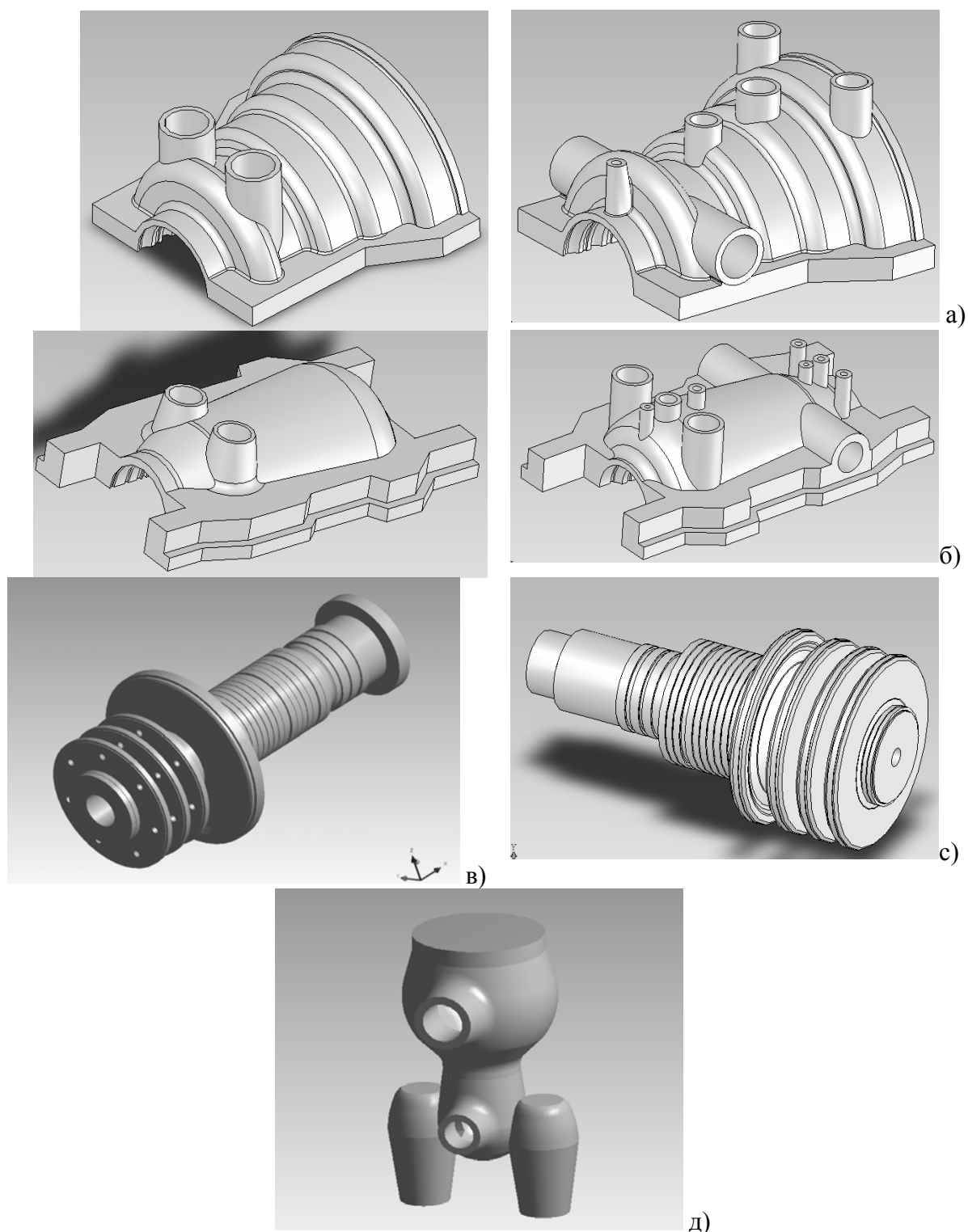


Рис.1 Геометрические модели высокотемпературных элементов турбоустановки: а - ЦВД (верхняя и нижняя половины), б-ЦСД (верхняя и нижняя половины), в- РВД, с- РСД, д- АСК ЦВД.

На третьем этапе проводится анализ характера изменения температурных напряжений и напряжений от действия внутреннего давления пара в высокотемпературных элементах паровой турбины для рассматриваемых эксплуатационных режимов. В качестве критерия изменения температурных

напряжений принят градиент температуры, который анализируется для точек - узлов конечно-элементной модели (рис.2). При анализе графиков изменения градиента температуры определяются моменты времени, в которых напряжения принимают экстремальные значения, и рассчитывается распределение напряжений.

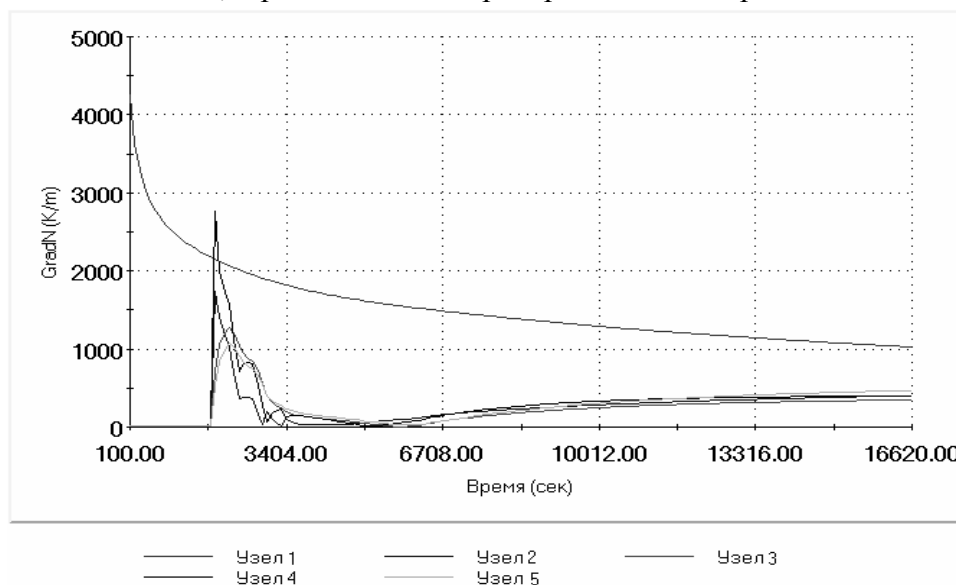


Рис.2. Изменение градиента температуры в точках металла высокотемпературных элементов паровой турбины.

На четвертом этапе на основе рассчитанного изменения напряженно - деформированного состояния в точках металла высокотемпературных элементов паровой турбины в течение конкретного режима эксплуатации проводится расчет допустимого числа циклов до разрушения. Для этого при использовании цифровых моделей *ANSYS* и *COSMOSWorks* в программном меню задаются следующие параметры:

а) Тип циклической нагрузки - задается коэффициентом асимметрии цикла. В зависимости от рассчитанного характера изменения напряженно - деформированного состояния конструкции в течение конкретного режима эксплуатации возможны следующие варианты:

а) *Fully reversed* ($R = -1$) – полностью реверсивное нагружение.

б) *Zero-based* ($R = 0$) – отсчет от нуля.

в) *Loading ratio* – произвольная асимметрия нагружения.

б) Кривая малоциклового усталости S-N – задается по имеющимся экспериментальным исследованиям для различных сталей [6].

в) Коэффициент сопротивления усталости (K_f) позволяет учесть возможные рассеяния измерений при экспериментальном получении кривой малоциклового усталости. Диапазон изменения K_f от 0 до 1. Коэффициент K_f является аналогом коэффициента запаса по числу циклов n_N [6, 7].

г) Коэффициент масштабирования нагрузки (scale factor). Задание числового значения этого коэффициента приводит к искусственному изменению амплитуды

циклической нагрузки. Этот параметр является аналогом коэффициента запаса по напряжениям n_σ [6, 7].

Оценка малоциклового усталости металла РВД паровой турбины К-200-130-3 с применением программного комплекса ANSYS.

По описанной методике, которая основана на использовании методов математического моделирования в программном комплексе ANSYS, проведен расчет малоциклового усталости металла ротора высокого давления РВД паровой турбины К-200-130-3 ст. № 4. При этом пуски после 6-10 часов простоя приравняются к пускам из неостывшего состояния НС-2, пуски после 15-20 и 30-35 часов простоя названы пусками из неостывшего состояния НС-1, а пуски после 50-60 часов простоя и из холодного состояния приравняются к пускам из холодного состояния ХС. Для металла РВД минимальное допускаемое число циклов до появления трещин составляет порядка 6630 на режиме НС-1, 7900 на режиме НС-2 и 6360 на режиме ХС. Результаты расчета для пуска из НС-2 приведены на рис. 5 при работе паровой турбины в период эксплуатации.

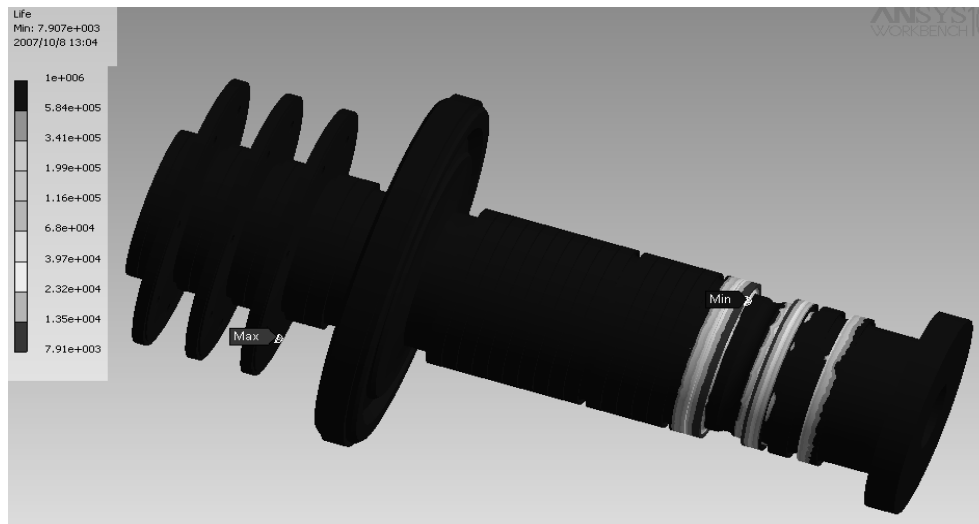


Рис.5. Малоцикловая усталость металла РВД паровой турбины К-200-130-3. Режим НС-2.

Оценка малоциклового усталости металла РСД паровой турбины К-200-130-3 с применением программного комплекса COSMOSWorks.

По методике, основанной на использовании программного комплекса COSMOSWorks, проведен расчет малоциклового усталости металла РСД паровой турбины К-200-130-3. Для металла РСД минимальное допускаемое число циклов до появления трещин составляет порядка 4650 на режиме НС-1, 5360 на режиме НС-2 (рис.6) и 900 на режиме ХС.

Оценка малоциклового усталости металла ЦВД паровой турбины К-200-130-3 с применением программного комплекса COSMOSWORKS. При оценочных расчетах малоциклового усталости металла ЦВД паровой турбины К-200-130-3 использован программный комплекс COSMOSWorks. Для металла корпуса ЦВД минимальное допускаемое число циклов до появления трещин составляет порядка 2270 на режиме НС-1, 2353 на режиме НС-2 и 2502 на режиме ХС. Результаты расчета для пусков по типу НС-2 приведены на рис.7.

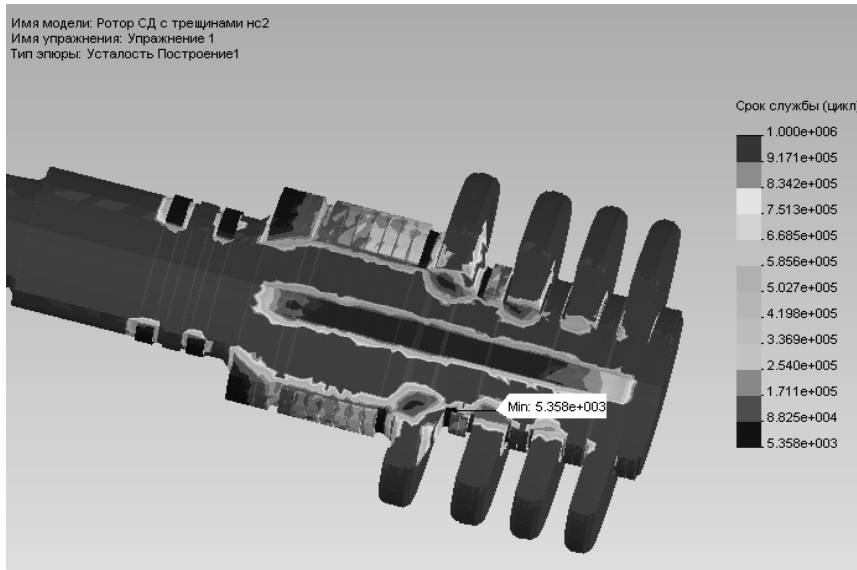


Рис. 6 Малоцикловая усталость металла РСД паровой турбины К-200-130-3. Режим НС-2.

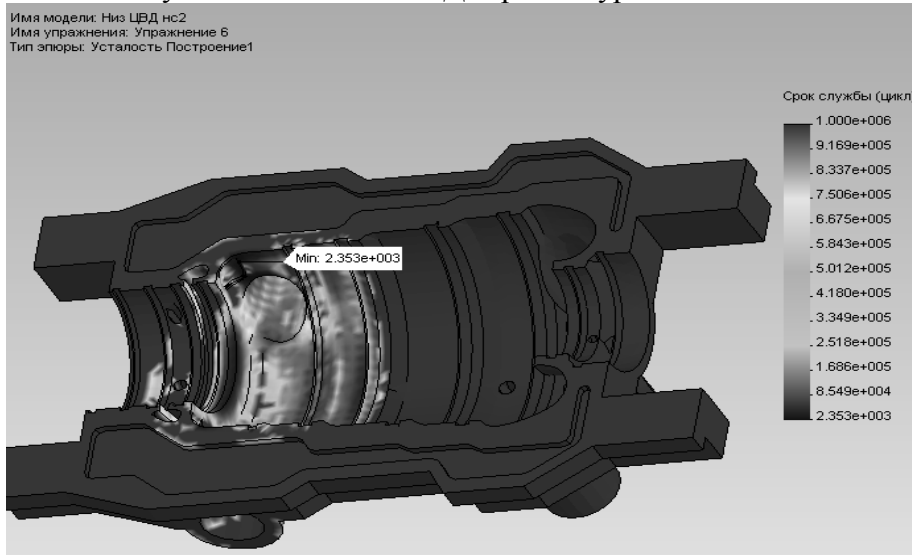


Рис.7. Малоцикловая усталость металла ЦВД паровой турбины К-200-130-3. Режим НС-2.

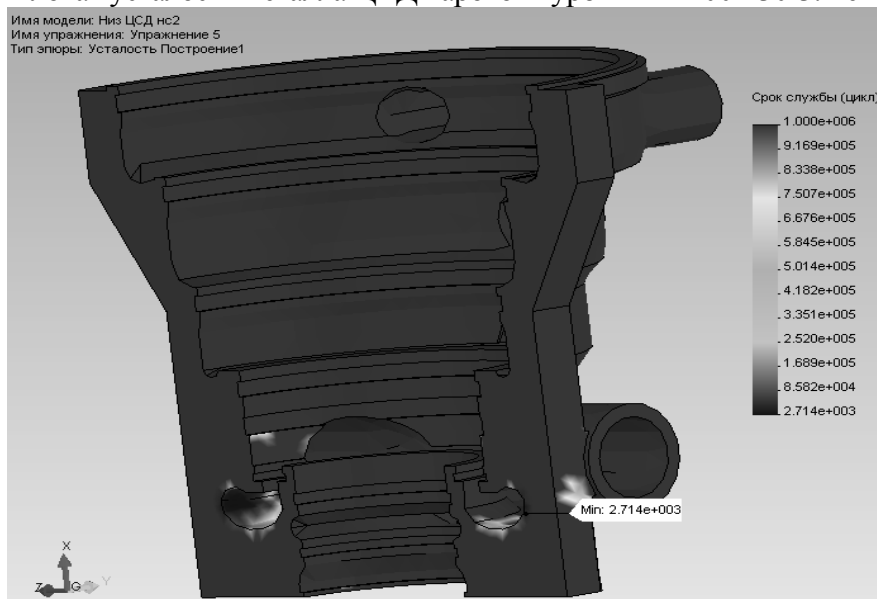


Рис.8 Малоцикловая усталость металла ЦСД паровой турбины К-200-130-3. Режим НС-2.

Оценка малоциклового усталости металла ЦСД паровой турбины К-200-130-3 с применением программного комплекса *COSMOSWORKS*.

При оценочных расчетах малоциклового усталости металла ЦСД паровой турбины К-200-130-3 использован программный комплекс *COSMOSWorks*. Результаты расчета приведены на рис.8. Для металла корпуса ЦСД минимальное допускаемое число циклов до появления трещин составляет порядка 4147 на режиме НС-1, 2714 на режиме НС-2 (рис.8) и 4738 на режиме ХС.

Оценка малоциклового усталости металла АСК ЦВД паровой турбины К-200-130-3 с применением программного комплекса *ANSYS*. По описанной методике, которая основана на использовании методов математического моделирования и программном комплексе *ANSYS*, проведен расчет малоциклового усталости металла АСК ЦВД паровой турбины К-200-130-3. Результаты расчета для пусков по типу НС-1 и НС-2 приведены на рис.9. Для металла АСК ЦВД минимальное допускаемое число циклов до появления трещин составляет порядка 12000 на режиме НС-1, 4500 на режиме НС-2 и 12000 на режиме ХС.

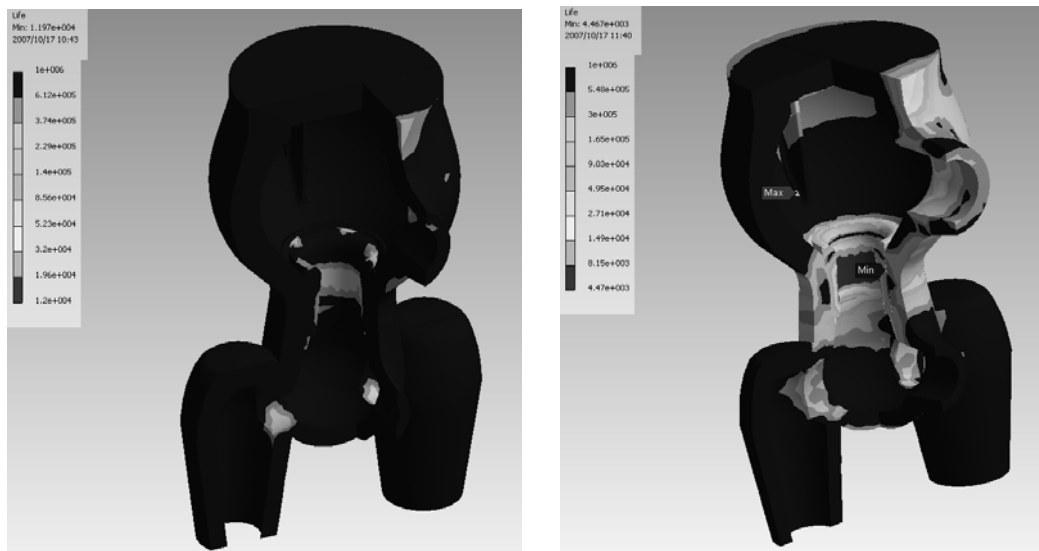


Рис.9. Малоцикловая усталость металла АСК ЦВД паровой турбины К-200-130-3. Режим НС-1 и НС-2.

Выводы

В трехмерной постановке с использованием программного комплекса *ANSYS* и *COSMOSWorks* разработана методика расчетной оценки малоциклового усталости металла высокотемпературных корпусов ЦВД, ЦСД и роторов РВД, РСД паровой турбины К-200-130-3, а также клапанов АСК ЦВД. Трехмерная постановка задачи позволяет учесть влияние фланцев горизонтального разъема корпусов ЦВД и ЦСД, разгрузочных отверстий роторов РВД и РСД, а также патрубков регенеративных отборов, дренажей и др.

На базе разработанной методики расчетной оценки малоциклового усталости металла высокотемпературных корпусов ЦВД и ЦСД, роторов РВД и РСД, а также клапанов АСК ЦВД и АЗК ЦСД могут быть построены системы диагностики напряженно-деформированного состояния паровых турбин и продлена эксплуатация высокотемпературных элементов паровых турбин мощностью 200-300 МВт.

Список литературы

1. НД МПЕ України. Контроль металу і продовження терміну експлуатації основних елементів котлів, турбін і трубопроводів теплових електростанцій.- Типова інструкція. СОУ-Н МПЕ 40.17.401:2004.
2. РД 10-577- 03. Типовая инструкция по контролю металла и продлению срока службы основных элементов котлов, турбин и трубопроводов тепловых электростанций. - М., 2003.
3. Дубов А.А. Проблемы оценки остаточного ресурса стареющего оборудования.- Теплоэнергетика, 2003, №11, с. 54-57.
4. Попов А.Б., Перевалова Е.К., Сверчков А.Ю. и др. Проблема продления ресурса теплоэнергетического оборудования ТЭС - Теплоэнергетика, 2003, №4, с. 29-36.
5. Трухний А.Д. Новый подход к оценке малоциклового долговечности деталей энергетического оборудования. - Теплоэнергетика, 1994, №4, С. 2-6.
6. РТМ 108.021.103. Детали паровых стационарных турбин. Расчет на малоцикловую усталость. – М., 1985, № АЗ-002/7382, 49 с.
7. 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.
8. РТМ 24.020.16-73. Турбины паровые стационарные. Расчет температурных полей роторов и цилиндров паровых турбин методом электро моделирования. –М., 1973, № ВК-002/3209, 104 с.

УДК 529.735.064

Г.Й.Зайончковський, д-р техн.наук, Н.С.Михалевич
Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

ОЦІНКА ПРОТИФЛАТЕРНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ РУЛЬОВИХ ПРИВОДІВ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ЛІТАКІВ

Рассматриваются динамические свойства рулевых приводов систем управления самолетов. Дается оценка их противофлатерных свойств по характеристикам динамической жесткости.

Dynamic properties of busters of control the system airplanes are examined. Antiflatter properties of busters are estimated on descriptions of their dynamic inflexibility.

Актуальність досліджень.

Боротьба з флатером є однією з обов'язкових задач, що вирішується конструктором при проектуванні системи штурвального керування сучасного літака. Рішення цієї задачі тільки за рахунок традиційних аеродинамічних методів має певні обмеження. Одне з перспективних напрямів у вирішенні цієї задачі є застосування в системі штурвального керування літака рульових приводів, що мають протифлатерні властивості. Практичне застосування такого напрямку в боротьбі зі флатером струмується відсутністю науково обґрунтованих рекомендацій по вибору кінематичної схеми та параметрів рульового приводу, який би мав необхідні протифлатерні властивості. Цим обумовлюється актуальність даних досліджень.