

УДК 621.165.62-192

ТЕПЛОВОЕ И НАПРЯЖЕННО- ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ЛИТЫХ КОРПУСОВ РЕГУЛИРУЮЩИХ КЛАПАНОВ ЭНЕРГОБЛОКОВ МОЩНОСТЬЮ 200 МВт

О. Ю. Черноусенко,

д-р техн. наук

chernousenko20a@gmail.com

ORCID: 0000-0002-1427-8068

Д. В. Рындюк,

канд. техн. наук

rel_dv@ukr.net

ORCID: 0000-0001-7770-7547

В. А. Пешко,

канд. техн. наук

vapeshko@gmail.com

ORCID: 0000-0003-0610-1403

Национальный технический
университет Украины «Киевский
политехнический институт
имени Игоря Сикорского»,
03056, Украина, г. Киев,
пр. Победы, 37

Паровые турбины мощностью 200 МВт энергоблоков ДТЭК «Луганская ТЭС» отработали порядка 305–330 тысяч часов при общем количестве пусков от 1438 до 1704 по состоянию на конец 2019 года. Срок продления эксплуатации высокотемпературного энергетического оборудования между планово-предупредительными ремонтами истек. При продлении эксплуатации корпусов цилиндров и роторов следует уделить внимание и органам парораспределения. Особенностью повторного продления эксплуатации энергоблока мощностью 200 МВт является сверхпарковая наработка энергетического оборудования более 250 тысяч часов и работа оборудования в маневренных режимах (более 1700 пусков из различных тепловых состояний) при покрытии пиков электрической нагрузки с превышением количества пусков для отдельных типов оборудования в два–три раза. Такое значительное число переменных режимов работы негативно сказывается на долговечности работы оборудования и требует изучить влияние основных механизмов повреждаемости на металл литых деталей. В работе приведено расчетное исследование теплового и напряженно-деформированного состояния регулирующих клапанов цилиндров высокого (ЦВД) и среднего давления (ЦСД) турбины К-200-130. Расчеты проведены с использованием трехмерных геометрических моделей, а также с учетом реальных условий эксплуатации. Геометрическая модель корпусов регулирующих клапанов ЦВД построена с учетом сложной геометрии при переходе от подводящих патрубков к паровому объему клапана с последующим сужением сечения отводящего патрубка к регулирующей ступени ЦВД. Аналогично геометрическая модель корпусов регулирующих клапанов ЦСД построена с учетом сложной пространственной геометрии согласно чертежам, предоставленным эксплуатирующей организацией. Числовое исследование теплового и напряженно-деформированного состояния проведено для типовых режимов эксплуатации с использованием метода конечных элементов. Пусковые режимы исследовались в нестационарной постановке, постоянные режимы – в стационарной. Тепловое состояние регулирующих клапанов ЦВД и ЦСД рассчитывалось для трех вариантов пусковых режимов: пуск из холодного состояния при начальной температуре металла 100 °С, из неостывшего состояния при начальной температуре металла 250 °С и из горячего состояния при начальной температуре металла 410 °С. Граничные условия для расчетов теплового состояния определялись с использованием реальных и наиболее характерных пусковых графиков, предоставленных электростанцией. При расчетах теплового состояния для различных пусковых режимов рассмотрены динамики изменения градиентов температур. В ходе исследования напряженно-деформированного состояния установлены основные зоны концентрации напряжений в регулирующих клапанах паровой турбины К-200-130.

Ключевые слова: *регулирующий клапан, паровая турбина К-200-130, тепловое состояние, градиенты температур, напряженно-деформированное состояние.*

Введение

Паровые турбины типа К-200-130 ЛМЗ были спроектированы на температуру свежего пара и пара после промежуточного перегрева 565 °С при гарантированном сроке службы высокотемпературных элементов 100 тыс. ч. Однако из-за трудностей, возникших при доводке до проектных показателей котлоагрегатов, они фактически эксплуатировались до 1970 г. при температуре пара 540–565 °С, а начиная с 1971 г. – при температуре 530–545 °С. Такой температурный режим несколько улучшил ресурсные характери-

© О. Ю. Черноусенко, Д. В. Рындюк, В. А. Пешко, 2020

ки высокотемпературных элементов паровых турбин [1]. Парковый ресурс энергетического оборудования энергоблоков 200 МВт равен 220 тыс. ч при числе пусков 800 по нормативным документам Министерства энергетики и угольной промышленности Украины [2, 3]. В КПИ им. Игоря Сикорского за период 2005–2009 гг. были выполнены работы по оценке остаточного ресурса высокотемпературного энергетического оборудования энергоблоков мощностью 200 МВт № 11, 13–15 Луганской ТЭС, энергоблоков № 3–9 Кураховской ТЭС и энергоблока № 10 Старобешевской ТЭС. По результатам этих работ продлена эксплуатация энергетического оборудования на 50 тыс. ч. и 400 пусков по каждому энергоблоку.

По состоянию на конец 2019 г. паровые турбины мощностью 200 МВт блоков № 9, 11, 13, 14, 15 ДТЭК «Луганская ТЭС» отработали порядка 305–330 тыс. ч при общем количестве пусков от 1438 до 1704. Срок продления эксплуатации высокотемпературного энергетического оборудования между планово-предупредительными ремонтами (50 тыс. ч) истек. Необходимо, согласно рекомендациям [2], провести повторную оценку индивидуального ресурса корпусов регулирующих клапанов ЦВД и ЦСД паровой турбины К-200-130 мощностью 200 МВт, чтобы определить возможность дальнейшего продления эксплуатации [4].

Особенностью повторного продления эксплуатации энергоблока является сверхпарковая наработка его энергетического оборудования более 250 тыс. ч. Имеет место работа оборудования в маневренных режимах (более 1700–2500 пусков из различных тепловых состояний) при покрытии пиков электрической нагрузки с превышением количества пусков для отдельных типов оборудования в два–три раза. Такое значительное число переменных режимов работы негативно сказывается на долговечности работы оборудования и требует изучить влияние основных механизмов повреждаемости на металл литых деталей [5, 6].

Учитывая, что на практике трещины обнаруживаются после нескольких лет эксплуатации, значительный интерес представляет решение задачи с учетом возможных несовершенств и дефектов в отливках корпуса клапана, а также малоциклового усталости материала на нестационарных режимах работы [7].

Цель и задачи исследования

Целью статьи есть расчетное исследование теплового и напряженно-деформированного состояния корпусов регулирующих клапанов ЦВД и ЦСД паровой турбины К-200-130 № 15 ДТЭК «Луганская ТЭС».

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- проведение аудита технической документации касательно эксплуатационных режимов паровой турбины К-200-130, а также результатов диагностирования поврежденностей корпусов регулирующих клапанов ЦВД, ЦСД в планово-предупредительных ремонтах;
- расчетное исследование граничных условий теплообмена корпусов регулирующих клапанов ЦВД, ЦСД на пусковых и стационарных режимах работы;
- расчетное исследование теплового и напряженно-деформированного состояния корпусов регулирующих клапанов ЦВД, ЦСД и определение наиболее нагруженных областей.

Объекты исследования и особенности геометрических моделей

Система парораспределения паровой турбины К-200-130 во многом определяет её экономичную и надежную эксплуатацию. Свежий пар поступает к турбине по двум паропроводам диаметром 325×38 мм через главные паровые задвижки диаметром 250 мм. После них пар подходит к двум автоматическим стопорным клапанам с проходным сечением по 225 мм. Далее по четырем перепускным трубам диаметром 273×32 мм пар поступает к четырем регулирующим клапанам.

Регулирующие клапаны ЦВД неразгруженного типа, кроме клапана № 2. Диаметры клапанов № 2, 3, 4 равны 150 мм, диаметр клапана № 1 составляет 125 мм, диаметр разгрузочного клапана равен 75 мм.

В ЦСД пар после промперегрева поступает по двум паропроводам диаметром 630×25 мм через два автоматических защитных клапана разгруженного типа диаметром 420 мм.

После автоматического защитного клапана пар по четырем перепускным трубам диаметром 426×16 мм поступает к четырем регулирующим клапанам ЦСД. Все клапаны ЦСД разгруженного типа. Диаметры основных клапанов равны 325 мм, а диаметры разгрузочных клапанов составляют 105 мм.

Материал корпусов регулирующих клапанов ЦВД и ЦСД – легированная сталь 15Х1М1ФЛ.

Конструктивно корпуса регулирующих клапанов ЦВД и ЦСД представляют собой сложные технические объекты с развитой системой патрубков подвода и отвода пара. Конструктивные осо-

бенности корпусов регулирующих клапанов ЦВД и ЦСД обуславливают необходимость моделирования этих объектов в трехмерной постановке.

Геометрическая модель корпусов регулирующих клапанов ЦВД построена с учетом сложной геометрии при переходе от подводящих патрубков к паровому объему клапана с последующим сужением сечения отводящего патрубка к регулирующей ступени ЦВД. Аналогично геометрическая модель корпусов регулирующих клапанов ЦСД построена с учетом сложной пространственной геометрии согласно чертежам, предоставленным эксплуатирующей организацией.

Нормативные документы [2, 3] при исследовании ресурсных показателей действующего энергетического оборудования предполагают обязательный учет изменений конструкции исследуемого объекта во время планово-предупредительных ремонтов.

В период капитального ремонта 2018 г. блока № 15 ДТЭК «Луганская ТЭС» с применением как визуального осмотра, так и магнитно-порошковой и цветной дефектоскопии обследованы регулирующие клапаны ЦВД (4 шт.) и ЦСД (4 шт.) При этом на внешней и внутренней поверхностях регулирующих клапанов дефектов не обнаружено. Поэтому изменения в проектную конструкцию не вносились.

Модели, использовавшиеся для проведения расчетов теплового и напряженно-деформированного состояния, представлены на рис. 1.

Расчетное исследование теплового и напряженно-деформированного состояний корпусов регулирующих клапанов ЦВД, ЦСД турбины К-200-130 блока № 15 ДТЭК Луганская ТЭС

Расчетные исследования теплового состояния регулирующих клапанов ЦВД и ЦСД выполнялись в нестационарной постановке для переменных режимов работы и в стационарной – для постоянных режимов. При этом для дискретизации расчетной области применялся метод конечных элементов. При создании расчетной сетки использовались тетраэдрические элементы, размер которых уменьшался ближе к границе твердых тел и особенно в областях предполагаемых концентраторов напряжений. Общее число конечных элементов для клапана ЦВД составляет более 370 тыс., для клапана ЦСД – более 580 тыс.

Тепловые состояния регулирующих клапанов ЦВД и ЦСД рассчитывались для трех вариантов пусковых режимов: пуск из холодного состояния при начальной температуре металла $t_{0м}=100$ °С, из неостывшего состояния металла при $t_{0м}=250$ °С и из горячего состояния металла при $t_{0м}=410$ °С [8]. Граничные условия для расчета теплового состояния определялись с использованием реальных и наиболее характерных пусковых графиков, предоставленных электростанцией.

По технологии пуска, используемой на энергоблоке № 15 ДТЭК Луганской ТЭС, толчок ротора, набор оборотов и мощности осуществляется при полностью открытых регулирующих клапанах, что значительно упрощает расчет граничных условий (ГУ) теплообмена для пусковых режимов эксплуатации.

Для всех поверхностей регулирующих клапанов рассчитывались и задавались ГУ второго и третьего рода. Так, для наружных поверхностей клапанов задавались ГУ II рода $q=0$ Вт/м². Для верхнего сечения, где осуществляется посадка крышки клапана, рассчитывалась нестационарная плотность теплового потока для всего термина пуска.

Внутренняя поверхность клапанов была поделена на несколько характерных областей, для которых рассчитывались ГУ III рода на основании термодинамического расчета переменных режимов эксплуатации. Коэффициенты теплообмена определялись согласно классическому критериальному уравнению вида

$$Nu=0,021 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43}.$$

Определяющие размеры и скорости для каждой области выбирались отдельно.

На основании полученных тепловых состояний регулирующих клапанов рассчитывалось и напряженно-деформированное состояние. Основными напряжениями, которые формировали напряженно-деформированное состояние клапанов, являлись: температурные, напряжения от неравномерности температурных полей и от давления паровой среды. Детальное описание используемого алгоритма расчета теплового и напряженно-деформированного состояний высокотемпературных элементов ТЭС приведено в [8–10]. Ниже представлены результаты расчета регулирующих клапанов ЦВД и ЦСД турбины К-200-130 № 5 ДТЭК «Луганская ТЭС».

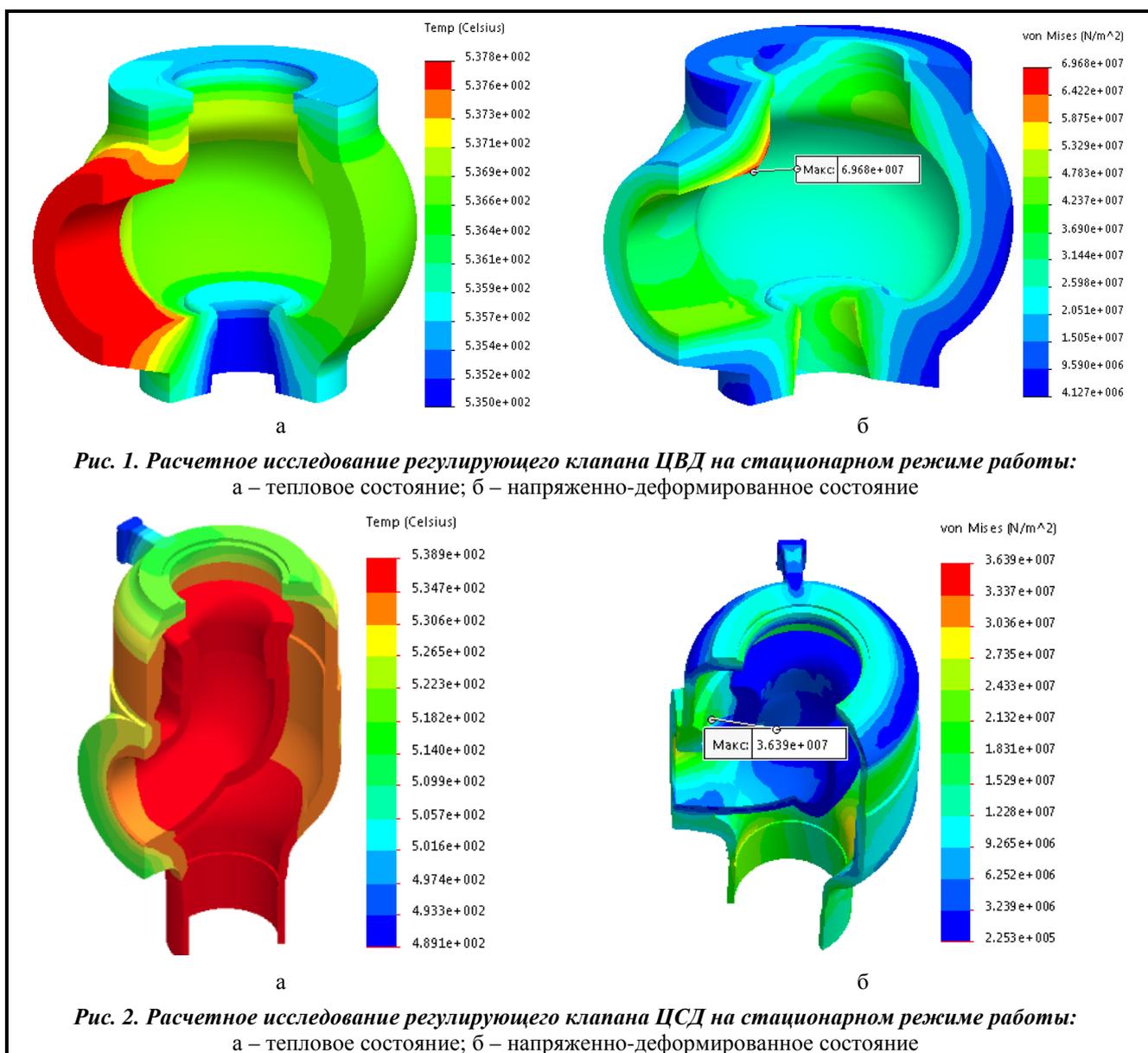
По результатам расчета теплового и напряженно-деформированного состояния регулирующего клапана ЦВД (рис. 1) на номинальной мощности турбины (200 МВт) установлено, что благодаря простоте конструкции и полному открытию клапана температурное поле является равномерным.

Максимальная температура металла $t_m=538\text{ }^\circ\text{C}$ наблюдается в области паровпускного патрубка, которая постепенно уменьшается ближе к выхлопному патрубку. Наибольшая интенсивность напряжений на номинальном режиме работы $\sigma_i=69,7\text{ МПа}$ располагается в области верхнего радиусного скругления между паровпускным патрубком и паровым коробом клапана.

Аналогично для регулирующего клапана ЦВД (рис. 2) температурное поле на номинальном режиме работы является равномерным. Наибольшая температура металла $t_m=539\text{ }^\circ\text{C}$ характерна для горла клапана и выхлопного патрубка (рис. 2, а). Более низкая температура наблюдается в области крышки клапана и его опорных лап $t_m=489\text{--}515\text{ }^\circ\text{C}$.

Уровень напряжений (рис. 2, б) также достаточно невысок – максимальная интенсивность напряжений проявляется в области сварного шва паровпускного патрубка и парового короба клапана $\sigma_i=36,4\text{ МПа}$.

Как уже отмечалось ранее, переменные режимы эксплуатации исследовались в нестационарной постановке. Отдельный интерес для пусковых режимов работы представляет динамика изменения градиентов температур, которая позволяет установить, в какие моменты времени усилия от неравномерности температурных полей будут иметь наиболее высокое влияние на напряженно-деформированное состояние.



Градиенты температур при пуске из холодного состояния приведены на рис. 3 для некоторых характерных областей клапана ЦВД (обозначены цифрами на рис. 3, а). Зоны для исследования неравномерности прогревания: 1 – паровпускной патрубок; 2 – радиальное скругление паровпускного патрубка и парового короба; 3 – зона крышки; 4 – паровой короб; 5 – верхняя часть седла клапана; 6 – горло седла. По своему значению градиенты температур невысоки, что свидетельствует о равномерном прогревании металла регулирующего клапана ЦВД при пуске из холодного состояния. Наибольший температурный градиент $\text{grad}T=1186 \text{ K/m}$ наблюдается для верхней части седла в момент времени 6300 с. Этот момент времени соответствует началу набора оборотов роторов после выдержки при частоте 600 об/мин.

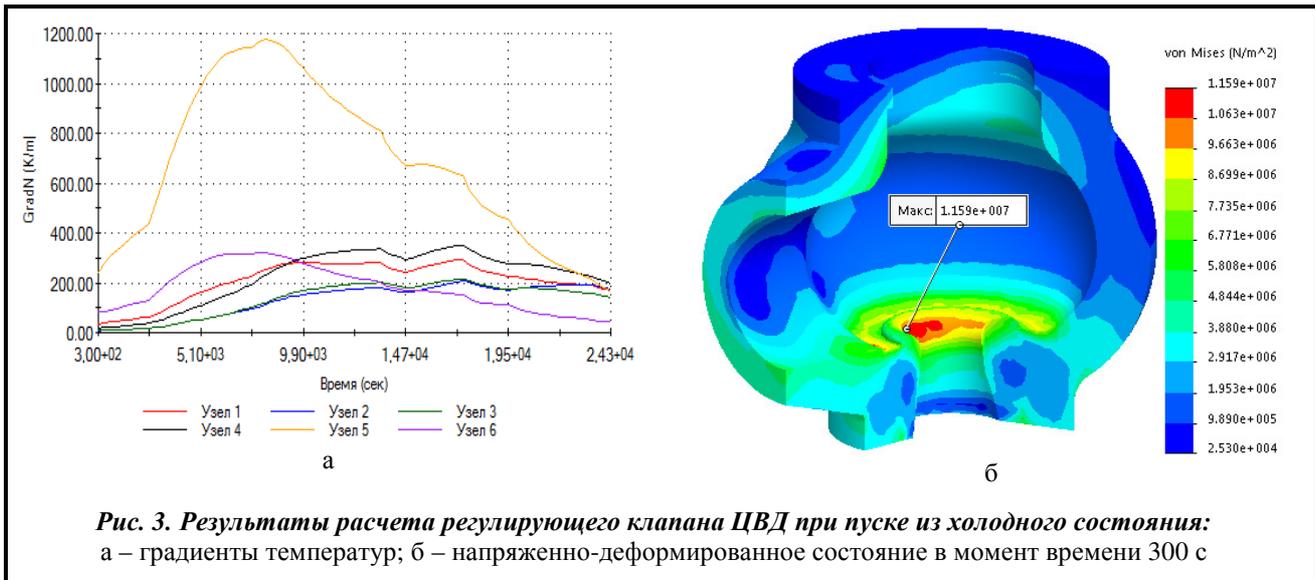


Рис. 3. Результаты расчета регулирующего клапана ЦВД при пуске из холодного состояния:
а – градиенты температур; б – напряженно-деформированное состояние в момент времени 300 с

Тепловое и напряженно-деформированное состояние регулирующего клапана высокого давления для этого же момента времени представлено на рис. 4. Наибольшая температура металла $t_m=275 \text{ }^\circ\text{C}$ характерна как раз для верхней части седла клапана, при этом напряжения в данной области составляют около 63 МПа. Наибольшие же напряжения в этот момент времени находятся в области горла клапана $\sigma_i=83,4 \text{ МПа}$.

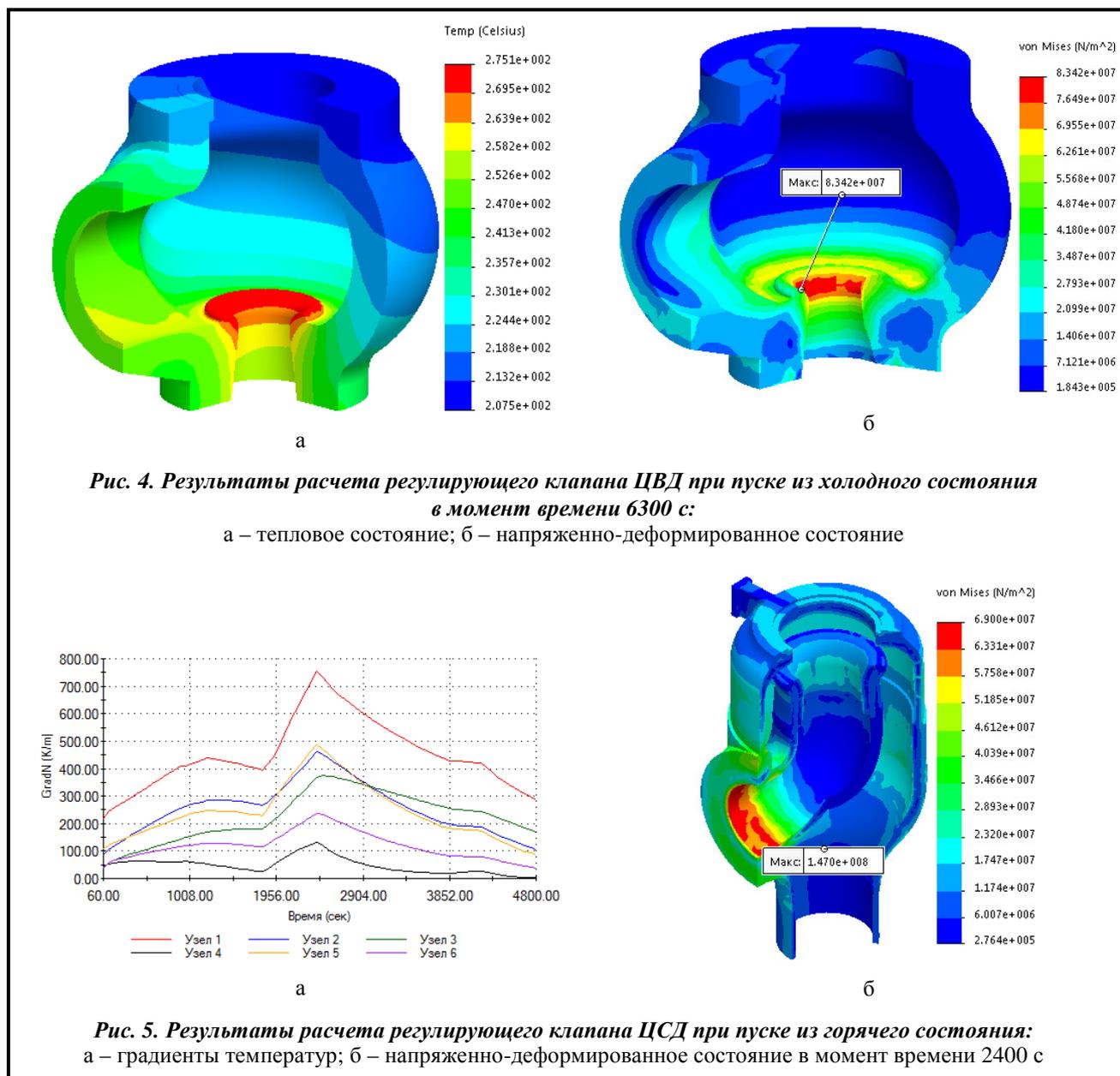
Максимальные напряжения в регулирующем клапане ЦВД при пуске из холодного состояния наблюдаются в момент времени 300 с. Этот момент соответствует увеличению расхода пара на прогрев паропроводов и более существенному приоткрытию главной паровой задвижки. Интенсивность напряжений в горле клапана $\sigma_i=115,9 \text{ МПа}$.

Аналогичным образом были проведены расчеты и для других типовых режимов эксплуатации.

На рис. 5 представлены градиенты температур для регулирующего клапана ЦСД при пуске из горячего состояния металла. Характерными областями исследования были (рис. 5, а): 1 – паровпускной патрубок; 2 – сварной шов паровпускного патрубка и выхлопа; 3 – зона крышки; 4 – горло седла; 5 – внутренняя фаска парового короба; 6 – паровой короб. Значения температурных градиентов регулирующих клапанов ЦСД, как и для ЦВД, сравнительно небольшие. Пиковое значение $\text{grad}T=753 \text{ K/m}$ возникает в момент времени 2400 с, что соответствует началу нагружения турбины до 100 МВт и пропуску номинального количества пара.

В этот же момент времени возникают максимальные интенсивности напряжений $\sigma_i=147 \text{ МПа}$ для всего цикла пуска из горячего состояния (рис. 5, б). Зоной появления максимальных напряжений есть сварной шов между паровпускным и выхлопным патрубками. Значение напряжений в области возникновения максимального градиента температур $\sigma_i=91,1 \text{ МПа}$ для данного момента времени.

Подобные данные были получены для всех типовых эксплуатационных режимов. Поскольку максимальные интенсивности напряжений для всех исследованных режимов не превышали предела текучести стали 15Х1М1ФЛ при температуре $540 \text{ }^\circ\text{C}$, который равен 168 МПа, задача пластичности не рассматривалась.



Проведенные расчетные исследования теплового и напряженно-деформированного состояния регулирующих клапанов ЦВД и ЦСД позволяют выполнить оценку их остаточного ресурса и принять решение про допустимость продления эксплуатации литых корпусов турбины К-200-130 № 15 ДТЭК «Луганская ТЭС».

Выводы

1. Для регулирующих клапанов паровой турбины К-200-130 выполнены численные исследования теплового и напряженно-деформированного состояния на базе трехмерных аналогов. Рассмотрены типовые эксплуатационные режимы, в том числе стационарный режим работы, пуски из холодного, неостывшего и горячего состояния.

2. Результаты исследования температурных градиентов и полей в нестационарной постановке позволяют утверждать о достаточно равномерном нагреве регулирующих клапанов для всех типов пусков. Значения интенсивности напряжений для всех переменных режимов эксплуатации не превышают предела текучести стали 15Х1М1ФЛ при температуре 540 °С, который равен 168 МПа.

3. Наибольшие интенсивности напряжений наблюдаются в областях седла клапана, паровпускного патрубка, а также сварных соединений и радиусных скруглений паровпускного патрубка и парового короба.

4. На номинальном режиме работы максимальная интенсивность напряжений для регулирующего клапана ЦВД $\sigma_i=69,7$ МПа и для регулирующего клапана ЦСД $\sigma_i=36,4$ МПа.

5. Проведенные расчетные исследования теплового и напряженно-деформированного состояния регулирующих клапанов ЦВД и ЦСД позволяют выполнить оценку их остаточного ресурса и принять решение о допустимости продления эксплуатации литых корпусов турбины К-200-130 ст. № 15 ДТЭК «Луганская ТЭС».

Литература

1. Сухинин В. П., Канюк Г. И., Пугачева Т. Н. и др. Анализ причин исчерпания ресурса паровой турбины *Вісн. НТУ «ХПИ»*. Сер. Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. 2011. № 5. С. 71–75.
2. НД МПЕ України. Контроль металу і продовження терміну експлуатації основних елементів котлів, турбін і трубопроводів теплових електростанцій: СОУ-Н МПЕ 40.17.401:2004. Офіц. вид. К.: ГРІФРЕ: М-во палива та енергетики України, 2005. 76 с.
3. СОУ-Н МЕН 40.1-21677681-52:2011 Визначення розрахункового ресурсу та оцінки живучості роторів та корпусних деталей турбіни: методичні вказівки / М. Г. Шульженко. Офіц. вид. Міненерговугілля України. К., 2011. 24 с.
4. Георгиевская Е. В., Гаврилов С. Н. Особенности продления срока службы паровых турбин при наработках, значительно превышающих парковый ресурс. *Вісн. НТУ «ХПИ»*. Сер. Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. 2013. № 12 (986). С. 107–113.
5. Stoppato A., Mirandola A., Meneghetti G., Lo Casto E. On the operation strategy of steam power plants working at variable load: Technical and economic issues. *Energy*. 2012. Vol. 37. Iss. 1. P. 228–236. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.11.042>.
6. Mirandola A., Stoppato A., Lo Casto E. Evaluation of the effects of the operation strategy of a steam power plant on the residual life of its devices. *Energy*. 2010. Vol. 35. Iss. 2. P. 1024–1032. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.06.024>.
7. Колядюк А. С., Шульженко Н. Г. Оценка ползучести корпуса регулирующего клапана паровой турбины К-325. *Вісн. НТУ «ХПИ»*. Сер. Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. 2014. № 11 (1054). С. 125–131.
8. Chernousenko O., Rindyuk D., Peshko V. Research on residual service life of automatic locking valve of turbine K-200-130. *Eastern-Europ. J. Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 5. No. 8 (89). P. 39–44. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.112284>.
9. Chernousenko O., Rindyuk D., Peshko V. Re-extension of 200 MW turbine cast casing service. *J. Mech. Eng.* 2019. Vol. 22. No. 2. P. 14–20. <https://doi.org/10.15407/pmach2019.02.014>.
10. Chernousenko O., Peshko V. Computation investigation of the thermal and stress-strain behavior of the rotor of high pressure turbine T-100/120-130; block No. 1 operated by the PJSC Kharkiv CHPP-5. *Bulletin NTU "KhPI"*. Ser. Power and heat engineering processes and equipment. 2017. No. 9 (1231). P. 34–40. <https://doi.org/10.20998/2078-774X.2017.09.059>.

Надійшла до редакції 21.02.2020

Тепловий і напружено-деформований стан литих корпусів регулюючих клапанів енергоблоків потужністю 200 МВт

О. Ю. Черноусенко, Д. В. Риндюк, В. А. Пешко

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
03056, Україна, м. Київ, пр. Перемоги, 37

Парові турбіни потужністю 200 МВт енергоблоків ДТЕК «Луганська ТЕС» відпрацювали близько 305–330 тисяч годин за загального числа пусків від 1438 до 1704 станом на кінець 2019 року. Термін продовження експлуатації високотемпературного енергетичного обладнання між планово-попереджувальними ремонтами закінчився. Продовжуючи експлуатацію корпусів циліндрів і роторів, слід приділити увагу й органам паророзподілу. Особливістю повторного продовження експлуатації енергоблоку потужністю 200 МВт є понадпаркове напрацювання

енергетичного обладнання більше 250 тисяч годин і робота обладнання в маневрених режимах (понад 1700 пусків з різних теплових станів) під час покриття піків електричного навантаження з перевищенням кількості пусків для окремих типів обладнання в два-три рази. Таке значне число змінних режимів роботи негативно впливає на довговічність роботи обладнання і вимагає вивчення впливу основних механізмів пошкоджуваності на метал литих деталей. В роботі наведено розрахункове дослідження теплового і напружено-деформованого стану регулюючих клапанів циліндрів високого (ЦВТ) і середнього тиску (ЦСТ) турбіни К-200-130. Розрахунки проведені з використанням тривимірних геометричних моделей, а також з урахуванням реальних умов експлуатації. Геометрична модель корпусів регулюючих клапанів ЦВТ побудована з урахуванням складної геометрії під час переходу від підвідних патрубків до парового об'єму клапана з подальшим звуженням перерізу відвідного патрубка до регулюючого ступеня ЦВТ. Аналогічно геометрична модель корпусів регулюючих клапанів ЦСТ побудована з урахуванням складної просторової геометрії згідно з кресленнями, наданими експлуатуючою організацією. Чисельне дослідження теплового і напружено-деформованого стану проведено для типових режимів експлуатації з використанням методу скінченних елементів. Пускові режими досліджувалися в нестационарній постановці, постійні режими – в стаціонарній. Тепловий стан регулюючих клапанів ЦВТ і ЦСТ розраховувався для трьох варіантів пускових режимів: пуск з холодного стану за початкової температури металу 100 °С, з неостиглого стану за початкової температури металу 250 °С і з гарячого стану за початкової температури металу 410 °С. Граничні умови для розрахунку теплового стану визначалися з використанням реальних і найбільш характерних пускових графіків, наданих електростанцією. За розрахунків теплового стану для різних пускових режимів розглянуто динаміку зміни градієнтів температур. В ході дослідження напружено-деформованого стану встановлено основні зони концентрації напружень в регулюючих клапанах парової турбіни К-200-130.

Ключові слова: регулюючий клапан, парова турбіна К-200-130, тепловий стан, градієнти температур, напружено-деформований стан.