

УДК 621.165

Инновационные решения ALSTOM POWER по модернизации турбоустановки Т-250/300-240 УТМЗ

Радцевич В.Ф., Свирилин М.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент КАЧАН С.А.

Современные условия работы энергосистем повышают требования к решениям, применяемым для продления срока службы основного оборудования тепловых электростанций (ТЭС). Необходим постоянный поиск инноваций по повышению производительности, эффективности, надежности и улучшению экологических характеристик ТЭС с целью обеспечения максимальной выгоды от модернизации.

Alstom Power является одним из крупнейших в мире поставщиков оборудования и услуг для нужд энергетики. Компания располагает обширными знаниями и богатым опытом в области проектирования, производства, монтажа, технического обслуживания и модернизации основного оборудования ТЭС: котлов, паровых турбин, генераторов со вспомогательным оборудованием [1 – 3].

Старение генерирующего оборудования, установленного в период шестидесятих-девяностых годов прошлого века и наблюдаемое в течение последних десятилетий ускорение развития турбинной техники, сделало проекты по модернизациям одним из наиболее экономически привлекательных способов восстановления и развития мощностей энергетического сектора. Использование современных технологий позволяет, за счет замены изношенных элементов новыми, получать, кроме восстановления ресурса и повышения надежности турбоагрегатов, также значительное увеличение их КПД [1 – 3].

Рассмотрим технические решения по модернизации мощной теплофикационной паротурбинной установки – Т-250/300-240, которая была спроектирована Уральским турбомоторным заводом (УТМЗ) в шестидесятые годы двадцатого века на основе новейших, доступных в то время достижений технологии активных турбин.

Турбина сверхкритического начального давления (235.4 бар, 540°C), с промежуточным перегревом пара (36.8 бар, 540°C), номинальной мощностью 250 МВт, при работе в теплофикационном режиме и 300 МВт – в конденсационном режиме. Предназначена для двухступенчатого подогрева сетевой воды и обеспечивает при номинальных условиях работы, 384 МВт тепловой мощности.

Турбина имеет четыре цилиндра: высокого (ЦВД), среднего (ЦСД-1, ЦСД-2) и низкого (ЦНД) давления (рисунок 1).

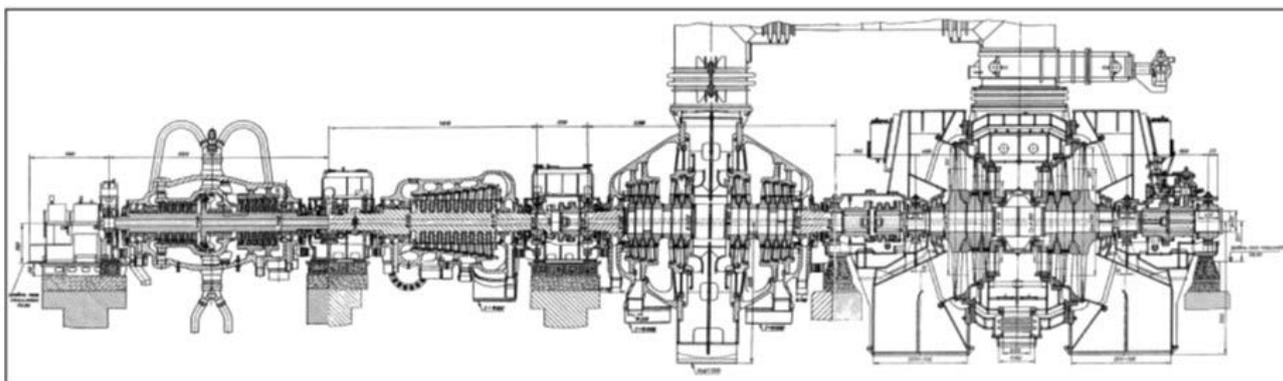


Рисунок 1 – Продольный разрез турбины Т-250-300-240

В 1970-1990 годы, на одиннадцати крупных теплоэлектростанциях, снабжающих теплом пять больших городов СССР (Москва, Ленинград, Минск, Киев и Харьков) введено в эксплуатацию 29 турбин типа Т-250/300-240.

К настоящему времени эти турбины, отработали несколько десятков лет и их высокотемпературные элементы ЦВД и ЦСД1 приближаются к пределу срока службы.

Рассмотрим решения *Alstom Power* при модернизации ЦВД турбины, которые могут решить следующие задачи:

- повышение изоэнтропического КПД ЦВД,
- восстановление ресурса ЦВД,
- удлинение межремонтного периода и снижения ремонтных затрат,
- повышение коэффициента готовности турбоагрегата.

Разработаны два варианта модернизации ЦВД [1].

Вариант 1 предусматривает увеличение параметров острого пара до уровня 235.4 бар, 560°C - при расходе острого пара 1050 т/ч и вторично перегретого пара до уровня 40.2 бар, 565°C.

Вариант 2 предусматривает поддержание параметров острого пара на уровне 235.4 бар, 540°C - при расходе острого пара 980 т/ч и вторично перегретого пара на уровне 36.8 бар, 540°C.

В рамках модернизации, существующий ЦВД с лопаточным аппаратом активного типа заменяется новым, реактивного типа (рисунок 2).

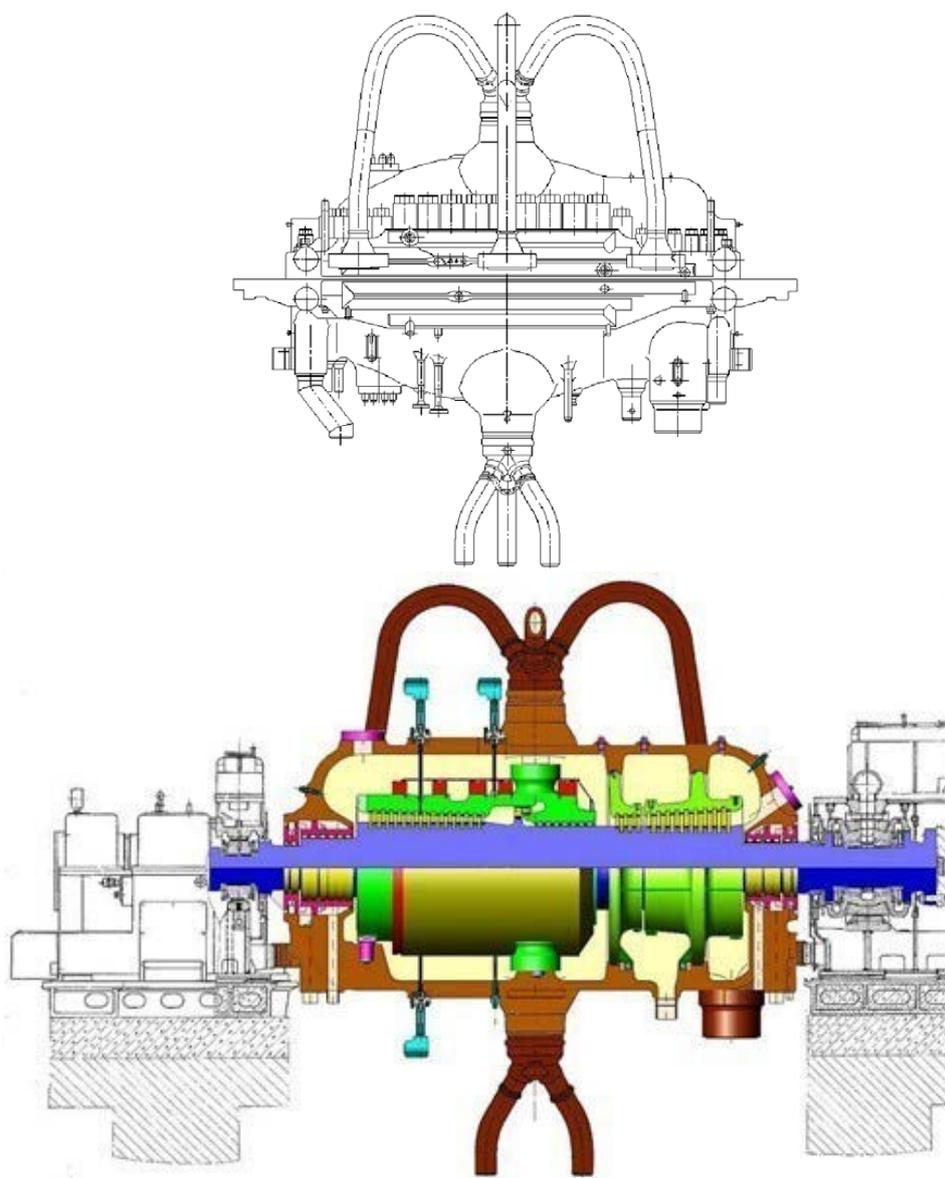


Рисунок 2 – ЦВД турбины Т-250/300-240 до (а) после (б) модернизации

Для дальнейшего использования предлагается оставить:

- систему подвода пара в ЦВД (стопорные и регулирующие клапаны, а также связанные с ними участки промежуточных трубопроводов),
- переднюю и среднюю опоры.

Новый ЦВД состоит из:

- внешнего корпуса, соединяемого болтами на горизонтальной плоскости разъема (и соединенных непосредственно с ним участков промежуточных трубопроводов системы подвода пара в ЦВД),
- внутреннего корпуса с обжимными кольцами, интегральными сопловыми коробками, сопловыми кольцами регулирующей ступени и со стационарным лопаточным аппаратом реактивных ступеней,
- ротора с лопаточным аппаратом
- двух обойм со стационарным лопаточным аппаратом реактивных ступеней на возврате,
- концевых уплотнений внешнего корпуса (с передней и задней сторон),
- уплотнительных колец разгрузочного поршня

Острый пар от шести регулирующих клапанов ВД подводится в четыре входных патрубка ЦВД турбины с помощью десяти пререпускных труб. Участки промежуточных трубопроводов в зоне верхней половины внешнего корпуса соединены с участками трубопроводов, принадлежащих к регуливающим клапанам, с помощью фланцев, а участки промежуточных трубопроводов, принадлежащие к нижней половине корпуса, соединены с участками, принадлежащими к регуливающим клапанам, с помощью сварки

В новом решении сохранена первоначальная схема течения пара – с возвратом. В связи с этим, положение патрубков впуска и выпуска пара из внешнего корпуса осталось прежним, без существенных изменений.

Новый внешний корпус и новый внутренний корпус выполнены в виде отливок из аустенитной литой стали *Stg9T* в случае *Варианта 1*, а в случае *Варианта 2* - из высокохромистой литой стали *Stg50T*.

Обоймы направляющих лопаток изготовлены в виде отливок из стали *Stg41T*. Корпуса концевых уплотнений ЦВД выполнены в виде отливок из литой стали *Stg41T* в случае *Варианта 1*, в случае *Варианта 2* - из литой стали *Stg30T*. Внешний корпус разделен по горизонтальной плоскости на две части, которые соединяются друг с другом с помощью шпилек, затягиваемых гидравлически. В отличие от старой конструкции, новое решение не требует применения нагрева фланцев и шпилек. Пар из патрубков паровпуска внешнего корпуса, посредством телескопических соединений, подводится к сопловым коробкам и сегментам во внутреннем корпусе.

Горизонтальная плоскость разъема разделяет внутренний корпус на две части.

Верхняя и нижняя часть внутреннего корпуса соединены друг с другом с помощью пяти обжимных колец, штампованных из стали *St12T* - в случае *Варианта 1*, или из стали *St460TS* в случае *Варианта 2*.

Соединение половин внутреннего корпуса ЦВД с помощью обжимных колец является отличительной особенностью паровых турбин компании *Alstom Power*.

В части паровпуска внутреннего корпуса расположены четыре сегмента соплового кольца регулирующей ступени, которые питаются паром, подводимым от впускных патрубков. Сопловые коробки выполнены как интегральные с корпусом и в виде соответственно профилированных каналов.

Новый внутренний корпус опирается на внешний корпус с помощью двух пар лап, расположенных вблизи плоскости разъема, соответственно - в зоне впуска пара и вблизи выхлопа. В нижней части нового внутреннего корпуса находятся два паза, которые обеспечивают устойчивое осевое положение корпуса в поперечном направлении.

Применяемая система лап и пазов позволяет поддерживать правильное, соосное положение корпусов, одновременно обеспечивая возможность свободных термических расширений внутреннего корпуса во всех направлениях. Часть внутреннего корпуса, которая подвергается воздействию самых высоких перепадов температуры, покрыта защитной термической изоляцией. Это обеспечивает не превышение допустимых пределов разности

значений температуры и напряжений в корпусе и обжимных кольцах. Температуры в нижней и в верхней частях корпуса контролируются с помощью установленных там термомпар.

Лопаточный аппарат модернизированного ЦВД турбины состоит из регулирующей ступени и 14 реактивных ступеней, расположенных во внутреннем корпусе, а также 10 реактивных ступеней, установленных в двух обоймах в зоне возврата.

Сопловое кольцо регулирующей ступени состоит из четырех групп сопел.

Разделение соплового кольца на сегменты подобрано таким образом, чтобы обеспечить оптимальный КПД регулирующей ступени во время работы при частичных (определенных Заказчиком) нагрузках, когда открыты – соответственно - два или три регулирующих клапана.

Сопловые сегменты регулирующей ступени изготавливаются методом фрезерования, из ковальной стальной заготовки, имеющей форму кольца. На конечной стадии обработки, кольцо разрезается на две части и устанавливается в расточки в верхней и в нижней частях внутреннего корпуса.

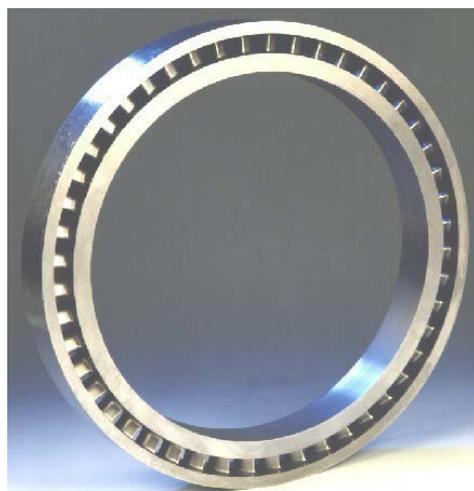
Вал нового ротора ЦВД барабанного типа, и в случае *Варианта 1* модернизации, изготавливается путем соединения сваркой трех поковок из стали *St459TS / St10TS / St459TS*, а в случае *Варианта 2* (без изменения параметров) – из одной поковки – моноблока, изготовленной из нержавеющей *St459TS*. После установки лопаток на обработанном до готового состояния вале ротора с приваренным венцом регулирующей ступени, подвергаются финишной обработке бандажи роторных венцов реактивных ступеней.

Для уравновешения и соответственного сбалансирования осевых сил, создаваемых лопаточным аппаратом модернизированным ЦВД и ЦСД, ротор ВД оснащается разгрузочным поршнем.

Диаметр вала в зоне шейки переднего подшипника уменьшен по сравнению с первоначальной конструкцией. Форма хвостовика нового вала в передней опоре обеспечивает возможность использования существующую автомата безопасности.

Венец роторных лопаток регулирующей ступени изготовлен методом электроэрозионной обработки. Затем это кольцо приваривается по окружности диска на валу ротора.

Данное решение (рисунок 3) позволяет оптимально использовать прочностные свойства материала и минимизировать концентрацию напряжений. Это имеет существенное значение ввиду высокой нагрузки от воздействующих на роторные лопатки регулирующей ступени окружных и динамических сил, которые возникают при работе турбины в зоне частичных нагрузок.



а)



б)

Рисунок 3 – Венец регулирующей ступени перед приваркой к валу ротора (а) и готовая регулирующая ступень (б)

Роторный венец ступени оснащен интегральным бандажом, в котором имеются расточки. Бандаж взаимодействует с установленными в корпусе зубьями надбандажного уплотнения. В проекте регулирующей ступени используются современные, характеризующиеся высоким КПД, направляющие и рабочие профили активного типа. Соответствующая конструкция соплового кольца позволяет, в случае открытия четырех регулирующих клапанов, получить полную (100%) дугу подвода пара к ступени.

Благодаря одновременному использованию описанных выше элементов, удалось получить характеризующуюся высоким КПД и работающую очень надежно регулирующую ступень.

Реактивные ступени оснащены лопатками последнего поколения с высоким КПД (рисунок 4).

Они, в частности, характеризуются:

- оптимизированными радиусами галтели между пером и бандажом, а также между пером и хвостовиком
- тонкими выходными кромками,
- оптимизированной, согласованной с трехмерным потоком пара формой пера (трехмерная, „свернутая” форма пера применяется, когда отношение длины лопатки к среднему диаметру ступени выше 0.1 – в случае, если это значение ниже - применяются цилиндрические лопатки).



Рисунок 4 – Направляющая и рабочая лопатки нового типа

Лопатки реактивных ступеней (направляющие и рабочие), изготовлены цельнофрезерованными - из заготовок (стержней) из хромистой стали *St12T*.

В случае *Варианта 1* модернизации, направляющие и рабочие лопатки трех первых ступеней изготавливаются из аустенитной стали *Stt17/13W*. Бандаж и хвостовик являются неотъемлемой частью лопатки.

Рабочие лопатки устанавливаются в Т-образные пазы, выполненные по периметру вала ротора. Во время монтажа, выполняется предварительный натяг рабочих лопаток, путем скручивания участка бандажа по отношению к хвостовику. Предварительный натяг лопаток позволяет сохранять сплошной (закрытый) контур лопаточного венца в изменяющихся условиях работы, и благодаря этому - устранить опасность возникновения резонансных колебаний лопаток и их повреждения во время работы турбины в допустимом диапазоне нагрузок и скоростей вращения.

Направляющие лопатки, оснащенные Н-образными хвостовиками, устанавливаются в соответствующие пазы, выполненные по окружности на внутренней образующей внутреннего корпуса и обойм лопаток. Как и в случае рабочих лопаток, выполняется предварительный натяг направляющих лопаток.

На рисунке 5 показан способ монтажа направляющих и рабочих лопаток.

Промежуточные и надбандажные уплотнения (рисунок 6), выполнены в виде так называемых лабиринтных уплотнений.

Расточки на бандажах направляющих и роторных лопаток работают совместно с уплотнительными усиками, зачеканенными на роторе и во внутреннем корпусе. Величина радиальных и осевых зазоров в зоне уплотнений, в лопаточном аппарате оптимизирована с учетом действительных относительных расширений, амплитуды колебаний ротора и зазоров в опорных подшипниках.

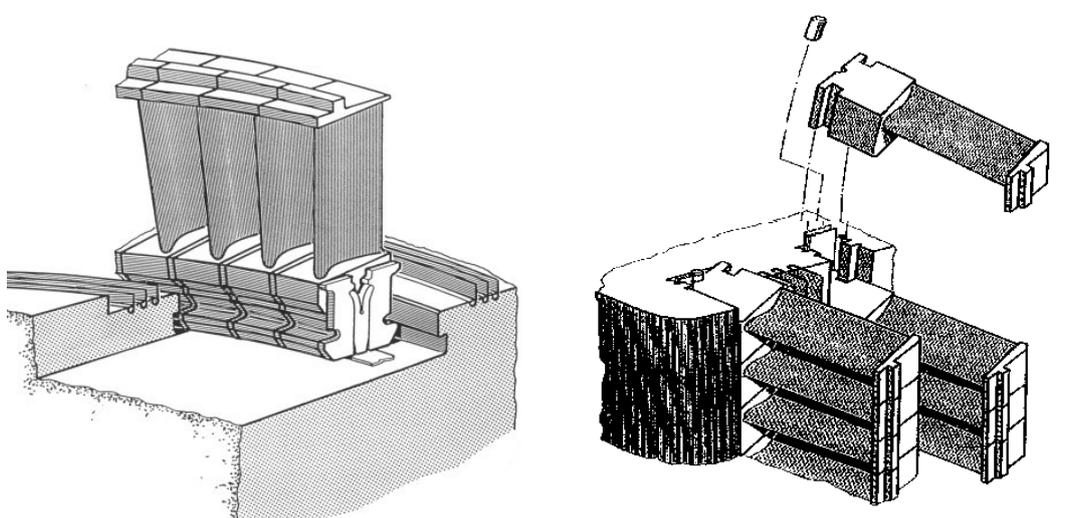


Рисунок 5 – Монтаж рабочих и направляющих лопаток

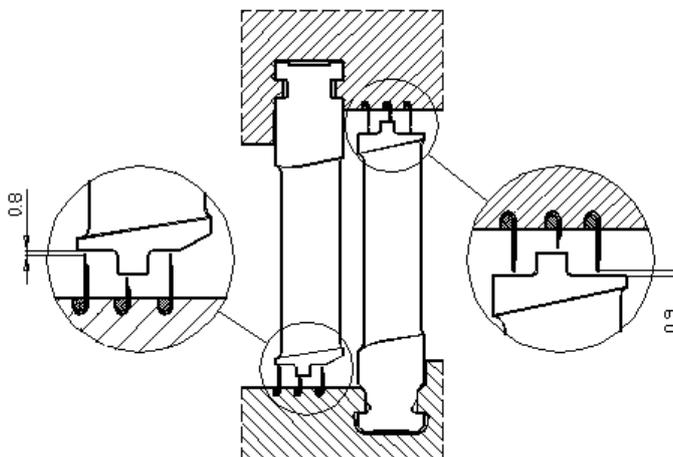


Рисунок 6 – Промежуточное уплотнение

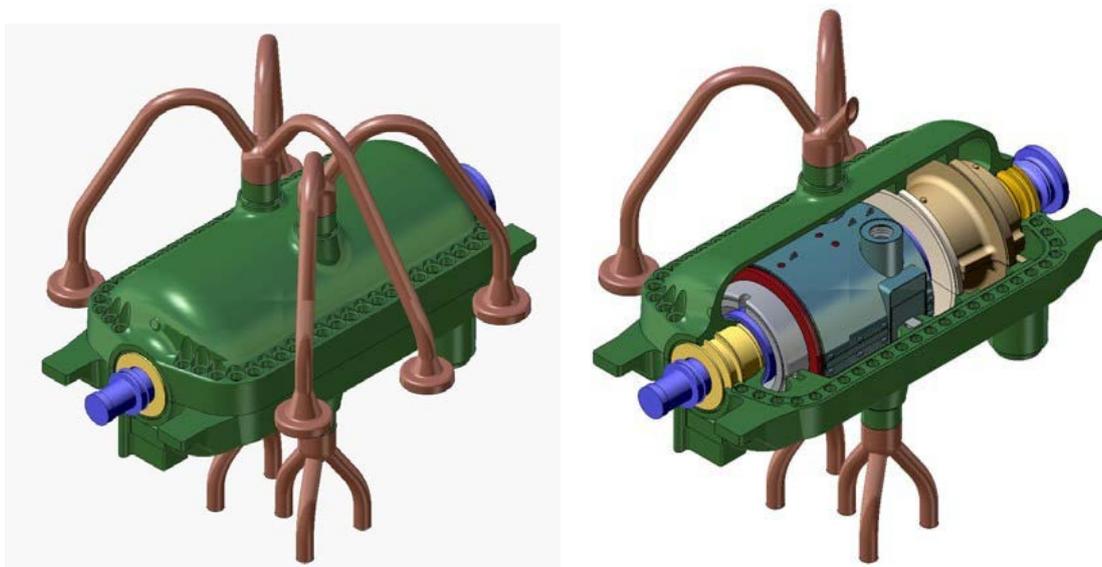


Рисунок 7 – ЦВД турбины после модернизации

Продольный разрез турбины Т-250/300-240 после модернизации показан на рисунке 8.

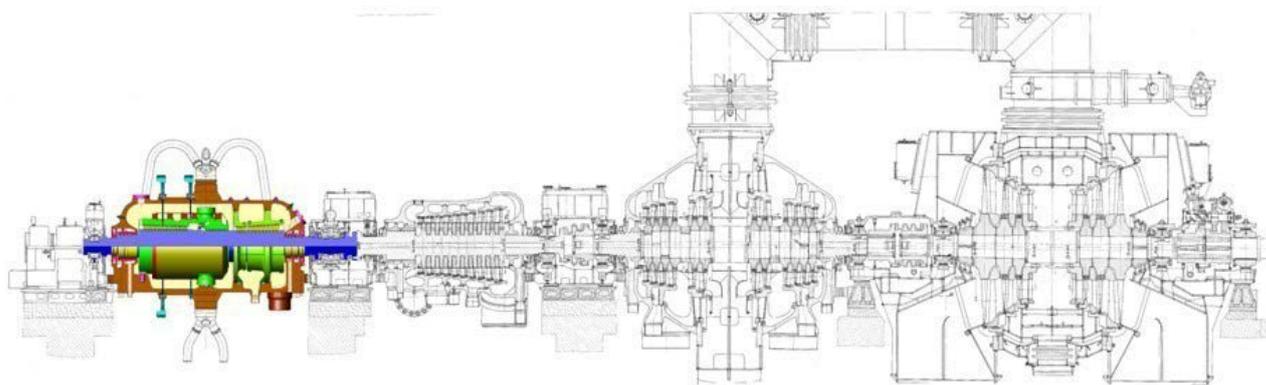


Рисунок 8 – Продольный разрез турбины Т-250/300-240 после модернизации

В заключение отметим, что модернизация ЦВД турбины Т-250/300-240 позволяет повысить ее внутренний КПД примерно на 7%, а также получить прирост электрической мощности турбины ориентировочно

- на 8 МВт в случае *Варианта 2*
- на 16 МВт в случае *Варианта 1*.

Литература

1. Подход ALSTOM к выполнению ретрофитов паровых турбин, эксплуатируемых в России / К. Кетлински, П. Червиньски, С. Александров, Alstom Power Sp. z o.o // Сборник докладов и каталог Пятой Всероссийской конференции «РЕКОНСТРУКЦИЯ ЭНЕРГЕТИКИ – 2013», 4-5 июня, 2013 г., Москва, ООО «ИНТЕХЭКО», С. 11- 15.
2. Опыт компании Alstom Power по модернизации паровых турбин / Луневич, Б. Л., Кетлински, К. М., Хэскэт, А. Крюгер Е. Т. // Теплоэнергетика. - № 6. - 2003. - С. 71 - 76.
3. Łuniewicz, B., Kietliński, K., Gardzilewicz A., 2003, Experience of ALSTOM Power in large output turboset modernisations in Poland, Transactions of the Institute of Fluid-Flow Machinery, No. 113 - Gdańsk 2003, pp. 35-50.