



УДК 621.165.62-5

ПОВЫШЕНИЕ ЭКОНОМИЧНОСТИ ТЕПЛОФИКАЦИОННОЙ ТУРБИНЫ Т-175/210-130 ПУТЁМ УПЛОТНЕНИЯ РЕГУЛИРУЮЩИХ ДИАФРАГМ ЦНД

INCREASING THE EFFICIENCY OF THE EXTRACTION TURBINE T-175/210-130 BY MEANS OF SEALING OF LPC REGULATING DIAPHRAGMS

Литвинов Егор Владимирович, аспирант каф. «Турбины и двигатели», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: litvinov@uer.ru, Тел.: +7(912)291-26-88

Новоселов Владимир Борисович, д-р. техн. наук, профессор каф. «Турбины и двигатели», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: vnowoselov@mail.ru. Тел.: +7(922)208-79-53

Михайлов Алексей Геннадьевич, инженер ОАО «УРАЛЭНЕРГОРЕМОНТ», Россия, 620075, г. Екатеринбург, ул. Шевченко, 16. E-mail: mixailov070@mail.ru, Тел.: +7(919)376-65-47

Egor V. Litvinov, Graduate student, Department «Turbines and engines», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: litvinov@uer.ru. Ph.: +7(912)291-26-88

Vladimir B. Novoselov, Doctor Sc., Prof., Department «Turbines and engines», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: vnowoselov@mail.ru. Ph.: +7(922)208-79-53

Aleksei G. Mikhailov, Engineer, JSC "URALENERGOREMONT", 620075, Shevchenko street, 16, Ekaterinburg, Russia. E-mail: mixailov070@mail.ru. Ph.: +7(919)376-65-47

Аннотация: В статье рассмотрен проект ОАО «УРАЛЭНЕРГОРЕМОНТ» по уплотнению поворотных регулирующих диафрагм паровой турбины Т-175/210-130. Описана применяемая технология уплотнения, а также оценен экономический эффект от реализации проекта.

Abstract: The article describes the project of JSC "URALENERGOREMONT" concerning of seal of rotary regulating diaphragms of steam turbine T-175/210-130. Describes the applied seal technology and estimated the economic effect of the implementation of the project.

Key words: steam turbine, seal of regulating diaphragms, heat extraction.

ВВЕДЕНИЕ

Сегодня тепловую энергию для нужд отопления и горячего водоснабжения получают, как правило, из теплофикационных отборов турбин типа Т и ПТ. Как известно, целесообразность использования таких турбин обуславливается низкими удельными показателями затрат топлива на производство электрической энергии (в сравнении с конденсационными), что в свою очередь объясняется меньшими потерями тепла в конденсаторе, где вместе с циркуляционной водой в цикле теряется значительная часть тепловой энергии пара. В этом смысле турбины, работающие с противодавлением (типа Р) имеют самые высокие экономические показатели, так как ввиду отсутствия конденсатора не несут подобных тепловых потерь.

Отбор пара из турбины для нужд теплофикации на турбинах АО «УТЗ», как и турбинах других заводов-изготовителей обычно организован следующим образом: пар на сетевые подогреватели ПСГ-1 и ПСГ-2 отбирается из последнего и предпоследнего отсеков цилиндра среднего давления соответственно. Давление в отборах поддерживается поворотной регулирующей диафрагмой (РД), установленной на входе в цилиндр низкого давления (ЦНД) или в часть низкого давления, если турбина выполнена двухцилиндровой.

Конструктивной особенностью регулирующих диафрагм является наличие гарантированной неплотности, обусловленной в первую очередь технологией производства диафрагм, а также необходимостью пропускать некоторое количество пара в ЦНД для охлаждения лопаток

последних ступеней [2]. Стоит отметить, что при полностью закрытых окнах в ПРД пар, поступивший в ЦНД, (ввиду дросселирования в ПРД) обладает достаточно низким потенциалом и поэтому не совершает работы в последних ступенях турбины, а теплота пара передаётся циркуляционной воде, то есть становится чистой потерей в тепловом цикле паротурбинной установки. Ввиду этого очевидным способом увеличения тепловой мощности и эффективности турбины является уплотнение РД. На сегодняшний день на ряде турбин ЛМЗ и УТЗ в различных вариантах уже реализованы проекты уплотнения регулирующих диафрагм. Среди турбин АО «УТЗ» наиболее привлекательными для реализации данного проекта оказались машины большой мощности. В первую очередь это турбины Т-175/210-130, Т-250/300-240 и семейство турбин Т-100. Стоит отметить, что на турбинах Т-175/210-130, Т-250/300-240 заводом-изготовителем уже предусмотрена установка электрифицированных задвижек на ресиверах ЦСД-ЦНД, которые позволяют практически до нуля сократить пропуски пара в ЦНД на режиме работы по тепловому графику. Однако при всей, на первый взгляд, высокой привлекательности данного решения оно существенно снижает маневренность турбоустановки, исключая возможность работы по тепловому и электрическому графикам в широком диапазоне нагрузок и с высокой экономичностью.

Экспериментальные исследования, выполненные по турбине Т-175/210-130 УТМЗ, показывают, что на режиме работы турбины по тепловому графику, имеют место пропуски пара в ЦНД на уровне 80 (т/ч)/ата, а при работе турбины с противодавлением перед ЦНД порядка 196 кПа (2,0 кгс/см²) в ЦНД (и, соответственно, в конденсатор) поступает порядка 160 т/ч пара, что, безусловно, снижает тепловую экономичность турбины из-за потери тепла в конденсаторе. При полной ликвидации пропусков пара в ЦНД с закрытыми регулирующими диафрагмами можно добиться увеличения теплофикационной мощности на величину:

$$\Delta Q[\text{ГДж/ч}] = \frac{\Delta G_{\text{цнд}}[\text{т/ч}] \cdot \gamma[\text{кДж / кг}]}{1000} \quad (1)$$

,где $\gamma = 2200$ кДж/кг – скрытая теплота парообразования водяного пара и воды на линии насыщения при давлении 0,2 МПа (2 кгс/см²); $\Delta G_{\text{цнд}} = 160$ т/ч – пропуск пара в ЦНД.

$$\Delta Q = \frac{160 \cdot 2200}{1000} = 352 \text{ ГДж/ч} (84 \text{ Гкал / ч})$$

В 2017 году компанией ОАО «УРАЛЭНЕРГОРЕМОНТ» был выполнен проект реконструкции РД турбины Т-175/210-130 стационарный №2 Барнаульской ТЭЦ-3. Отличительной особенностью данного проекта является практически полное уплотнение РД, что позволяет отказаться от использования задвижек, установленных на ресиверах ЦСД-ЦНД.

По результатам исследований для турбин Т-175/210-130 наибольший вклад в «неплотность» регулирующих диафрагм вносит конструкция разгрузки поворотных колец. Для её эффективной работы требуется наличие зазора величиной 0,3 – 0,4 мм между поверхностью кольца и поясками разгрузочных сегментов. Однако в условиях реальной эксплуатации указанный зазор оказывается многократно увеличенным вследствие необходимости обеспечения свободного перемещения колец.

УПЛОТНЕНИЕ РЕГУЛИРУЮЩИХ ДИАФРАГМ

В результате анализа возможных вариантов уплотнения регулирующих диафрагм было принято решение выполнить уплотнение как за счёт ликвидации разгрузки поворотных колец, так и за счёт предельно возможного уменьшения осевых зазоров между кольцами и диафрагмами.

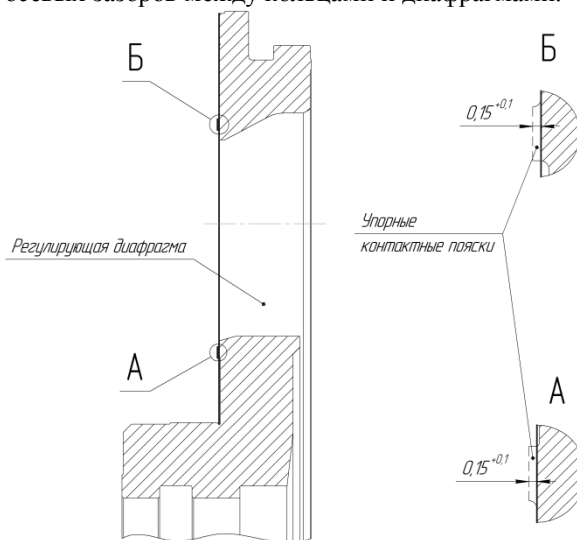


Рис. 1. Доработка диафрагмы

Таким образом, технология уплотнения регулирующих диафрагм заключается в следующем: во-первых, ликвидируется разгрузка поворотных колец (рис.2). Ликвидация осуществляется отглушением каналов разгрузки в поворотных кольцах посредством вставки в каналы и обваривания специально изготовленных пробок с последующей мехобработкой сварочных швов (заподлицо). Во-вторых, срезаются упорные контактные пояски на диафрагмах заподлицо с торцевой поверхностью направляющих лопаток

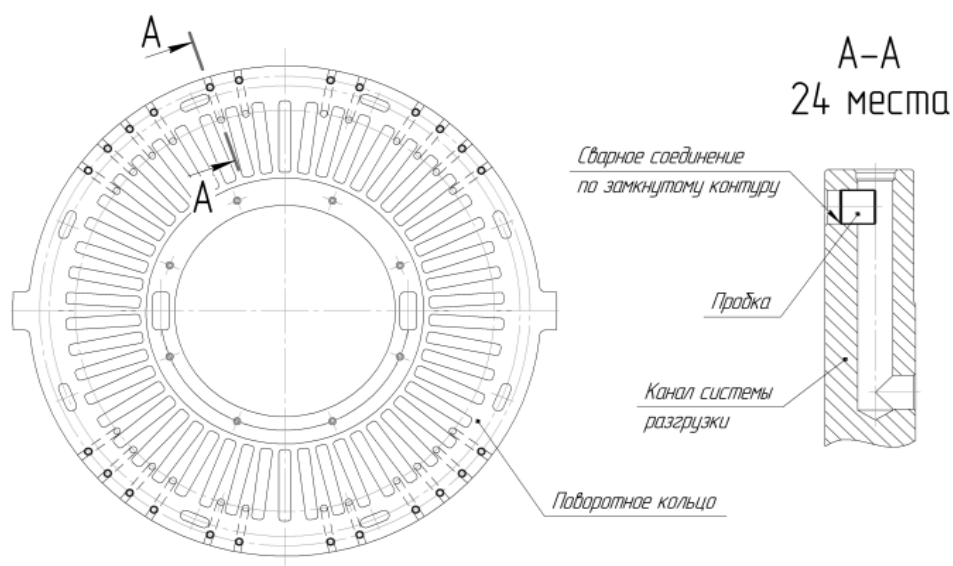


Рис. 2. Доработка поворотного кольца

диафрагм (при необходимости срезается дополнительный слой металла (до 0,2 мм), включая поверхность лопаток, для получения единой уплотняющей поверхности). Доработка диафрагмы показана на рис. 1.

По оценкам, указанная технология уплотнения регулирующих диафрагм позволит существенно превзойти заявленную в техническом задании величину увеличения Т-отбора на 15 Гкал/ч, фактически полностью реализовав возможности уплотнения.

УСТАНОВКА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПРИВОДА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

В связи с тем, что при реконструкции РД была ликвидирована разгрузка поворотных колец, то усилие на рычаге для их перемещения увеличилось примерно на 30%. В этом случае запаса усилия штатного сервомотора становится недостаточно для надёжной работы системы регулирования при давлении в теплофикационном отборе выше 0,2 МПа. Для обеспечения устойчивой работы САР на всех эксплуатационных режимах штатный сервомотор НД был заменен на электрогидравлический привод высокого давления (ЭГПВД) максимальное усилие которого более чем на 30 % превышает усилие штатного сервомотора.

Так как конец рычага РД в месте сочленения с сервомотором движется по дуге, а штатный сервомотор способен совершать только прямолинейное движение, то соединяются они не жестко – посредством серьги на сервомоторе и катающегося в ней ролика рычага. При таком соединении узлов успешно компенсируется отклонение ролика рычага РД от оси движения штока сервомотора, но при этом шток

сервомотора постоянно испытывает знакопеременные радиальные нагрузки. При проектировании нового ЭГПВД данная кинематическая схема была изменена: ЭГПВД установлен на двух сферических опорах одна из которых жестко соединена с рычагом, а другая – с кронштейном на нижней половине ЦНД. Такая схема установки позволяет минимизировать радиальные усилия на штоке и существенно упростить работы по монтажу привода, так как в данном случае отсутствуют операции по пригонке установочных зазоров. Установка ЭГПВД показана на рис.3.

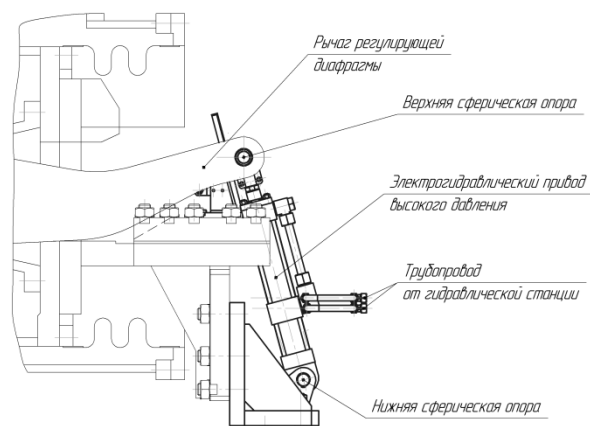


Рис. 3. Установка электрогидравлического привода высокого давления (ЭГПВД)

Стоит отметить, что при жестком соединении рычага РД с приводом, корпус ЭГПВД, следуя за рычагом, постоянно «подворачивается» на шаровых опорах. По этой причине соединение ЭГПВД с гидравлической станцией выполнено рукавами высокого давления, а не трубопроводом.

Управление ЭГПВД в дистанционном режиме, а также в режиме поддержания давления в теплофикационных отборах и температуры сетевой воды осуществляется с вновь устанавливаемого программно-технического комплекса. При этом штатная САР турбины после внесения незначительных изменений остаётся в работе.

СИСТЕМА ОХЛАЖДЕНИЯ ЦНД

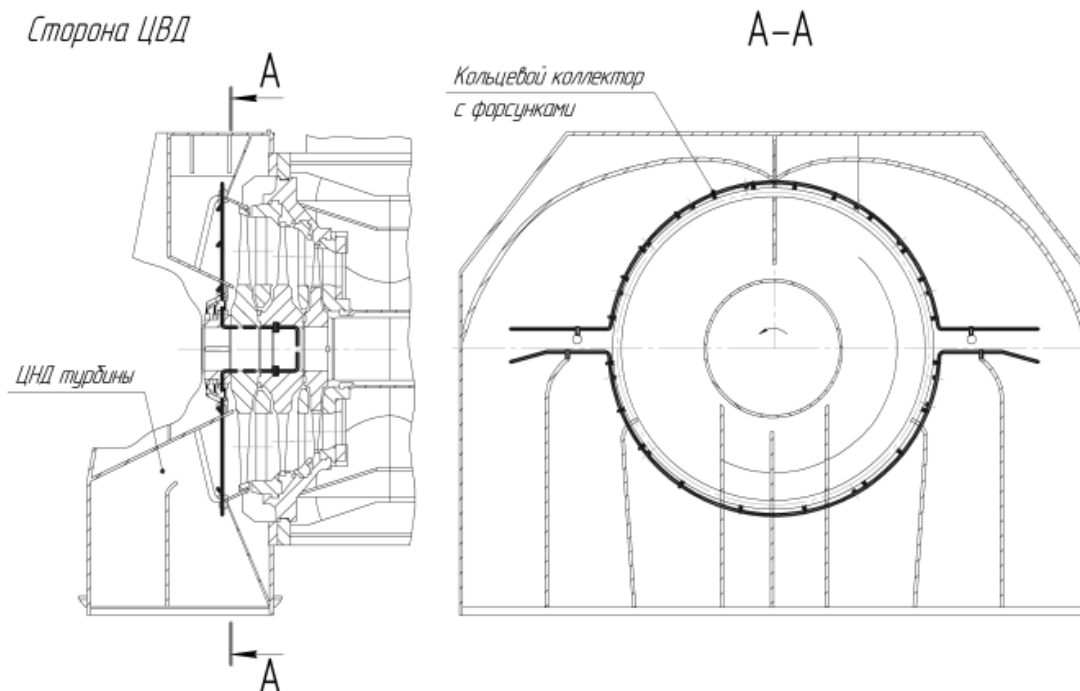


Рис. 4. Система охлаждения ЦНД

Снижение пропуска пара в ЦНД на режиме работы турбины по тепловому графику, а также на холостом ходу может приводить к чрезмерному разогреву ЦНД (свыше 120 °С). Поэтому для обеспечения надёжной и безаварийной работы турбины во всём диапазоне режимов работы, ЦНД оснащается системой охлаждения (рис.4), которая осуществляет впрыск конденсата в выхлопную часть ЦНД через форсунки, тем самым охлаждая роторные и статорные детали цилиндра.

Для питания системы охлаждения используется основной конденсат из тракта регенерации. Следует отметить, что конденсат должен быть перегрет относительно давления в конденсаторе для обеспечения дополнительного вскипания и измельчения капель воды при истечении через центробежные форсунки. С этой целью конденсат отбирается после ПНД-3 с параметрами $P=0,9$ МПа, $T=132$ °С [2].

На трубопроводе системы охлаждения установлено два параллельно включенных фильтра механической очистки. Наличие арматуры на входе и выходе из фильтров позволят выполнять чистку фильтров без отключения системы охлаждения. Трубопровод после фильтров (по ходу движения среды) выполняется из нержавеющей стали, что позволяет исключить возможность засорения форсунок продуктами коррозии.

ВЫВОД

Выполнение ряда мероприятий по уплотнению регулирующей диафрагмы турбины Т-175/210-130 и реконструкции САР приводят к существенному повышению маневренности и тепловой экономичности турбоустановки при работе с полностью закрытой регулирующей диафрагмой.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бененсон, Е.И. Теплофикационные паровые турбины / Е.И. Бененсон, Л.С. Иоффе.; под ред. Д.П. Бузина. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: «Энергия». 1986. – 272 с.
2. Хаймов В.А. Малорасходные режимы ЦНД турбины Т-250/300-240 – СПб.: БХВ-Петербург, 2007. – 240 с.