

*Аблаков Богдан Радикович,*

*студент магистратуры 1-го года обучения,*

*Аблакова Дарья Александровна,*

*студентка магистратуры 1-го года обучения,*

*научный руководитель – Безруков Роман Евгеньевич,*

*канд. техн. наук, доцент,*

*кафедра «Тепловые электрические станции»,*

*ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,*

*г. Казань, Республика Татарстан, Россия*

## **ПРИЧИНЫ РАЗРУШЕНИЯ РАБОЧИХ ЛОПАТОК ТУРБИНЫ**

В данной статье рассмотрен вопрос надежности и экономичности турбоагрегата ПТ-65/75-130/13. Приведены причины возникновения разрушений рабочих лопаток турбины. Предложены методы эффективной эксплуатации агрегатов.

**Ключевые слова:** турбина, рабочая лопатка, абразивный износ, эрозия, коррозия, ТЭС, ТЭЦ.

Паровые турбины являются одним из самых сложных и дорогих элементов современных ТЭС и АЭС. Это связано с тем, что через проточную часть турбины проходит пар с высокими параметрами, приводящий в движение ротор турбины, что в свою очередь приводит к огромным динамическим и статическим нагрузкам и многим другим факторам. Повреждаемость турбоустановок ТЭС находится в диапазоне 15-25% от повреждаемости всего оборудования электростанции. В связи с этим вопрос качественного ремонта паровых турбин на данный момент, является самым важным и сложным [1].

Рассмотрим, в частности, турбину типа ПТ, которая нашла свое применение в крупных городах, поскольку способна обеспечить паровой и электрической мощностями потребителей. Турбина данного типа является незаменимым агрегатом на тепловых электроцентралях, так как сочетает в себе промышленный и теплофикационные отборы пара.

Турбина ПТ-65/75-130/13 выпускается Уральским турбинным заводом для использования на ТЭЦ. ПТ-65/75-130/13 представляет собой двухцилиндровый одновальный агрегат, состоящий из цилиндров высокого (ЦВД) и низкого (ЦНД) давления. Турбина рассчитана на начальные параметры  $P_0 = 12,8$  МПа ,  $t_0 = 550$  °С , имеет номинальную мощность 65 МВт, максимальную мощность 75 МВт, номинальный регулируемый производственный отбор 150 т/ч и номинальный отопительный отбор 60 Гкал/ч (около 120 т/ч). Парораспределение ЦВД сопловое, с четырьмя клапанами. Пар из ЦВД частично отводится в производственный отбор и частично к регулирующим клапанам части среднего давления, расположенным на ЦНД. Через конденсатор проходит примерно  $8000$  м<sup>3</sup>/ч охлаждающей воды [2].

Важнейшими требованиями, предъявленными к турбоагрегатам, являются их надежность и экономичность. Вопросы, связанные с повышением надежности, затрагивают самые разнообразные области исследований: совершенствование методов расчета, совершенствование конструкций, экспериментальные исследования, разработка новых материалов и технологий.

В настоящее время в связи с сокращением потребления электрической энергии работа турбоагрегатов в большинстве регионов непостоянна, из-за этого происходит большое количество пусков и остановов, а также увеличилось число часов простоя.

За последние десятилетия объём капитальных вложений в электроэнергетический комплекс сократился в три раза. Это привело к тому, что старое оборудование не обновляется, а новое вводится чрезвычайно медленно. В связи с этим, наряду с задачей повышения надежности, актуальными стали задачи продления и восстановления ресурса как отдельных узлов, так и всего турбоагрегата в целом [3].

Одними из ответственных элементов турбины являются элементы проточной части, а именно: рабочие лопатки, диски, связи разных конструкций.

Рабочие лопатки представляют наиболее дорогую и уязвимую часть паровой турбины. Наиболее частыми причинами повреждения рабочих лопаток являются:

- 1) усталость материала, вызванная вибрацией, приводящая к зарождению трещин, их росту, что в конечном счете приводит к хрупкому разрушению;
- 2) коррозионная усталость, характерная для зон фазового перехода;
- 3) капельная эрозия – приводит к увеличению концентрации напряжений и снижению конструкционной прочности рабочих лопаток;
- 4) острый пар из котла приводит к абразивному износу рабочих и сопловых лопаток первых ступеней цилиндров;
- 5) отрыв рабочих лопаток, вызванный чрезмерными центробежными силами;
- 6) излом рабочих лопаток, вызванный чрезмерными изгибающими напряжениями в них;
- 7) разрушения хвостовиков и связей (бандажей и проволок) [4].

Процесс постепенного накопления повреждений, приводящий к образованию трещин, их развитию и разрушению, называется усталостью материала. Причиной появления усталого разрушения можно считать воздействие напряжений на неоднородную структуру материала. В результате этого, по мере накопления числа циклов нагружения, на поверхности детали возникает начальная макротрещина. Она является причиной последующего усталостного разрушения.

Аварии, вызванные разрушением рабочих лопаток, ведут к длительным неплановым простоям и дорогостоящим ремонтам. Наиболее сложными по конструкции и наиболее напряженными являются рабочие лопатки последних ступеней части низкого давления [2].

Для повышения надёжности проточной части турбоагрегатов необходимо собрать следующие данные: статистика повреждений, причины зарождения и их развитие. Только при наличии достоверной и полной информации можно обеспечить максимальную точность расчётов. Создание баз данных о

повреждениях и методик анализа является необходимым звеном в решении задачи повышения надёжности элементов проточной части.

Ресурс новой турбины назначается, исходя из ресурса элементов, работающих при температурах 450°C и выше, при которых в металле протекают необратимые изменения структуры и свойств, из-за чего происходит накопление повреждений от ползучести и усталости. К таким элементам относятся цельнокованные корпусные детали и роторы высокого и среднего давления. Ресурс остальных узлов и деталей не оговаривается ни в нормативной документации, ни в технических условиях на поставку турбин, но это не означает, что он бесконечен. Существует множество факторов, в том числе случайных, которые оказывают влияние на надёжность элементов турбин и уменьшают их ресурс. Действие этих факторов способствует развитию повреждений и может привести к отказу оборудования в процессе эксплуатации. Отсутствие в настоящее время расчётных методик, позволяющих на стадии проектирования выполнить количественную оценку влияния этих факторов на надёжность и ресурс, делают изначальный ресурс элементов турбин неопределённым [3].

К основным факторам, влияющим на надёжность и снижающим ресурс элементов проточной части, относятся: вибрация рабочих лопаток; явления, связанные с параметрами теплового процесса; качество эксплуатации; качество изготовления и ремонта.

Изучение влияния этих факторов, а также их количественная оценка способствуют развитию таких направлений, как разработка новых конструктивных решений, создание новых более прочных и более стойких материалов, разработка новых технологий изготовления и упрочнения, а также совершенствование методов контроля.

Ресурс рабочих лопаток и дисков частей среднего и низкого давления паровых турбин не может быть определён достоверно расчётными методами. Он является индивидуальным для каждой конкретной турбины и зависит от условий ее эксплуатации и качества проводимых ремонтов.

В настоящее время в связи с постоянными пусками и остановами турбинного оборудования всё чаще проявляются факторы, снижающие надежность и ресурс рабочих лопаток, поэтому разработка и совершенствование методик по восстановлению лопаток является актуальной задачей.

При восстановлении ресурса рабочих лопаток и дисков необходимо применение комплексных технологий, учитывающих возможность восстановления всех необходимых характеристик детали.

#### *СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ*

- 1. Хаимов В.А., Кокин В.Н., Пузырев Е.И., Воронов Е.О., Ганжин В.А.. Внедрение системы оперативного контроля и диагностики эрозионного износа рабочих лопаток мощных паровых турбин // Электрические станции – 2006. – №12. – С. 32-36.*
- 2. Рыженков В.А. Состояние проблемы и пути повышения износостойкости энергетического оборудования ТЭС // Теплоэнергетика. –2000. – № 6. – С. 20-25.*
- 3. Ермолаев В.В., Гудков Н.Н., Сосновский А.Ю., Кошелев С.А., Бабиев А.Н., Бакурадзе М.В., Губанов Д.Е., Шкляр А.И. Реконструкция паровых турбин пт-60-12,8 с восстановлением ресурса и повышением технико-экономических показателей // Теплоэнергетика – 2007. – №4. – С. 28-31*
- 4. Седлов А.С, Дорохов Е.В., Козлов С.И., Голубкова И.В. Расширение возможностей анализа результатов экспресс-испытаний для контроля технического состояния турбоустановки ПТ-65/75-130/13 // Промышленная теплоэнергетика – 2005. – №7. – С. 16-20.*