

УДК 621.165

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ПАРОВЫХ ТУРБИН

Канарский Д.Ю., Римашевская Е.Д.

Научный руководитель - Качан С.А., к. т. н., доцент

Повышение экономичности, маневренности и надежности эксплуатируемого и вновь устанавливаемого на тепловых электростанциях (ТЭС) оборудования является актуальной научно-технической задачей теплоэнергетики. При этом совершенствование паротурбинных установок (ПТУ) – важный и универсальный способ повышения экономичности ТЭС.

Новейшие из паровых турбин по сравнению со спроектированными 10–15 лет назад при тех же параметрах и той же площади выхлопа обеспечивают повышение КПД ПТУ на 4,5–6,0% (относительных). Это соизмеримо с повышением экономичности за счет повышения начальных параметров паросилового цикла.

Совершенствование турбинной установки возможно за счет применения [1 – 3]:

- реактивного облопачивания в цилиндре высокого давления (ЦВД);
- саблевидных (банановидных лопаток), меридиального профилирования;
- радиально-осевого или тангенциального подвода пара;
- цельнофрезерованных бандажей и пр.

Повышение экономичности проточных частей паровых турбин основывается на современных теоретических и экспериментальных исследованиях по отработке турбинных решеток, как в лабораторных условиях заводов-изготовителей, так и в натуральных условиях действующих электростанций.

Применение комплексом прикладных программ, которые используются при проектировании и оптимизации конструктивного профиля проточных частей паровых турбин различных типоразмеров и предназначенных для различных условий эксплуатации, помогает выявлять конструкцию, обладающую высокими аэродинамическими качествами и обеспечивающую высокую экономичность, как для номинального, так и для переменных режимов работы установок.

Традиционно сопловые лопатки выполняются прямыми и устанавливаются радиально, что связано с простотой изготовления диафрагм. Саблевидные лопатки («банановые» и «трехмерные») - изогнутые и напоминают по внешнему виду саблю (рис. 1) [2].

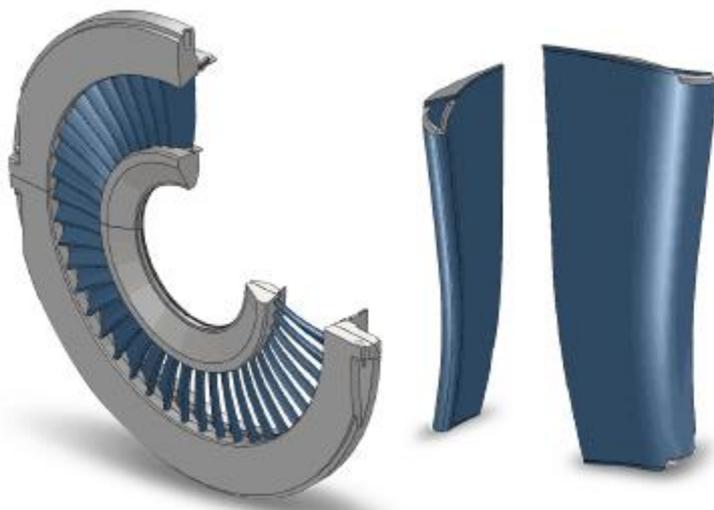


Рисунок 1. Диафрагма с саблевидными лопатками последнего отсека ЦВД

Выигрыш при использовании саблевидных лопаток возникает вследствие уменьшения доля пара, протекающего через корневую и периферийную зону ступени, где обтекание ступеней хуже. Наиболее эффективно их применение для последних ступеней цилиндров низкого давления (ЦНД) мощных паровых турбин: если все ступени ЦНД выполнить с саблевидными сопловыми лопатками, то КПД ЦНД возрастет на 1,5—2,5%, что с учетом доли выработки мощности в ЦНД даст выигрыш в экономичности всей турбины в 0,5—0,8%.

Можно использовать аналогичные «трехмерные» лопатки также для цилиндров высокого (ЦВД) и среднего (ЦСД) давления, где лопатки имеют малую длину, но зато относительно большую зону высоких потерь в корневой и периферийных зонах. Использование пространственных лопаток в ЦВД и ЦСД позволяет увеличить их КПД на 1—2%.

Для повышения КПД первых ступеней паровых турбин, которые имеют очень малую высоту сопловых и рабочих лопаток, используется меридиональное профилирование сопловых каналов, при котором верхний (меридиональный) обвод канала выполняется не цилиндрическим или коническим, а суживающимся. Такое профилирование дает относительное повышение КПД ступеней до 2-3%.

Отметим, что указанные способы аэродинамического совершенствования турбин, были предложены еще советскими учеными около 35 лет назад, но практически внедрены в реальные конструкции за рубежом [1].

Характерной особенностью ЦВД советских турбин является активный тип облопачивания ступеней с диафрагменно-дисковой конструкцией. При переходе к реактивному облопачиванию ЦВД (рис. 2) возможно повышение КПД на 5-8% на номинальном режиме в зависимости от типа турбины.

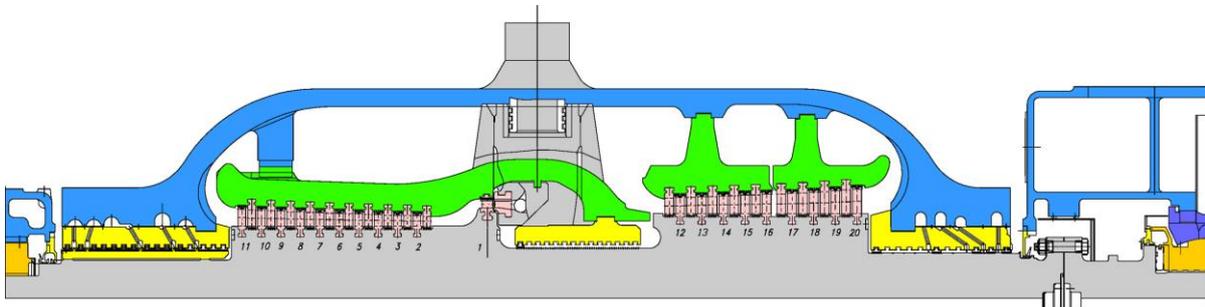


Рисунок 2. Двухпоточный ЦВД турбины К-300-240 с реактивным облопачиванием

Реактивное облопачивание позволяет улучшить обтекание рабочих решеток, снизить выходные потери, однако при этом повышаются потери от утечек и стоимость агрегата. Фирмы-производители применяют особые типы конструкции ЦВД с реактивным облопачиванием. Например «ствольная» или «горшковая» конструкция ЦВД Siemens обеспечивает почти полную осевую симметрию цилиндра, но требует при его монтаже и ремонте полного отсоединения паропроводов, сборки и разборки цилиндра и внутреннего корпуса с фальшцапфами, а также его кантовки и вертикальной сборки.

Отметим, что позиция фирм и заводов по выбору типа облопачивания (активного и реактивного) разная. Только анализ длительной эксплуатации, надежные технико-экономические сравнения того и другого типов облопачивания дадут оптимальное решение – и по надежности, и по КПД, и по стоимости изготовления.

Увеличение кольцевой площади выхода пара из турбины приводит к уменьшению потерь с выходной скоростью, пропорциональных квадрату площади выхода. Максимальную площадь выхода в 11,3 м<sup>2</sup> имела до недавнего времени турбина ЛМЗ К-

1200-240, рабочая лопатка последней ступени которой имеет длину 1,2 м при среднем диаметре 3 м и выполнена из титанового сплава. Несколько лет назад фирма Siemens создала новую лопатку с площадью выхода 12,5 м<sup>2</sup> при длине 1,143 м, выполненную из высокопрочной стали с содержанием хрома в 16%.

В настоящее время условиям работы ПТУ на переменных режимах придается большое значение, поэтому важной становится вопрос выбора оптимальной системы парораспределения. Традиционное сопловое парораспределение позволяет снизить концевую утечку, уменьшить число ступеней, облегчить условия охлаждения ЧВД в совмещенном ЦВСД. Вместе с тем очевидна большая надежность и экономичность работы энергоблока при скользящем давлении. В этом случае при дроссельном парораспределении и при всех нагрузках КПД нетто энергоблока повышается, а при сопловом – лишь при мощностях ниже примерно 70% номинальной.

Кроме перечисленных мер, направленных на улучшение экономичности турбины, можно указать на совершенствование аэродинамики пароподводящего тракта, стопорных и регулирующих клапанов, внутренних перепускных трактов, систем паровпуска и выпуска пара из цилиндров, выполнение регулирующей ступени с переменной дугой подвода пара и другое.

#### Литература

1. Трухний А.Д. Современная теплоэнергетика: электронная библиотека по энергетике. Росэнергосервис, 2004. (<http://lib.rosenergосervis.ru/sovremennaya-teploenergetika.html>).
2. КОМТЕКэнергосервис. Реконструкция паровых турбин (<http://www.comtec-energосervice.ru/products/rekonstrukcii-parovih-turbin/rekonstrukciya-turbin-s-celyu-snyatiya-ogranicheniy-po-ohlajdayushey-vode>).
3. Гаев В.Д. Основные направления модернизации паротурбинного оборудования ОАО «Силовые машины» при техническом перевооружении электростанций. // Конференция-семинар РАО ЕЭС «Инновационные технологии в энергетике». Тез. докл. конф. Москва, 2007.