

Перспективное направление повышения технико-экономических показателей тепловых электрических станций.

Главный специалист по паровым турбинам
ОАО «Силовые машины», канд. техн. наук
Гаев Валерий Дмитриевич.

Филиал ОАО «Силовые машины» Ленинградский металлический завод (ЛМЗ) принадлежит к числу ведущих как у нас в стране, так и за рубежом фирм по разработке и изготовлению энергетических паровых турбин для тепловых электростанций.

Прошло более 45 лет с тех пор, как в коммерческую эксплуатацию начали входить энергоблоки мощностью 300 МВт сверхкритического давления (СКД) с турбинами ЛМЗ на давление пара перед стопорными клапанами $P_o=23.5$ МПа и на температуру свежего пара и промежуточного перегрева 560/565 °С. Уже тогда, на отдельных паротурбинных блоках в России (Киришская ГРЭС, Костромская ГРЭС и др.) удельные расходы условного топлива на выработанный киловатт установленной мощности достигали 304-308 г/кВт.

В течение последовавших за этим лет, совершенствуя энергетическое оборудование и тепловые схемы, увеличивая мощность вплоть до 1200 МВт, отечественная энергетика заняла ведущее место в мере по использованию параметров СКД, позволяющих весьма существенно повысить КПД энергоблоков. Достижение высоких показателей паротурбинных блоков обеспечивалось, прежде всего, за счет проведения комплексных промышленных исследований головных образцов турбин и паротурбинных установок в целом на электростанциях в период их освоения на начальном этапе опытно-промышленной эксплуатации. На этом этапе выявлялись конструкторские, технологические, системные и эксплуатационные недостатки, устранение которых способствовало повышению технико-экономических показателей выпускаемого оборудования.

В настоящее время ЛМЗ изготовлены и эксплуатируются турбины СКД разных модификаций мощностью 300, 500 и 800 МВт. С 1980 года на Костромской ГРЭС работает энергоблок СКД с самой мощной в мире одновальной паровой турбиной К-1200-23.5 с достаточно высокими технико-экономическими показателями. Возможность создания такой турбины открылась благодаря освоению Ленинградским Металлическим заводом и Заводом турбинных лопаток (ЗТЛ) производства рабочих лопаток последней ступени цилиндров низкого давления из титанового сплава с длиной рабочей части 1200 мм. Никакая другая фирма в мире, до того момента, таких лопаток на 3000 об/мин, несмотря на предпринимавшиеся попытки, в серийном производстве не имела.

При этом уже в то время достигнутые показатели по экономичности не уступали лучшим зарубежным образцам аналогичного оборудования.

Проведенный анализ опубликованных в литературе данных на примере блоков мощностью

300 МВт, установленных в США и аналогичных блоков с турбинами ЛМЗ в бывшем СССР (табл.1) показывает, что, несмотря на более интенсивное использование отечественных турбин, они и сегодня не уступают по надежности американским энергоустановкам, имея заметно меньшее время простоя в резерве и в плановых ремонтах.

При сравнении показателей только российских блоков и американских, следует, что показатели надежности российских блоков 300 МВт продолжают оставаться более высокими, чем у аналогичных энергоустановок США.

Таблица 1

Показатель	Блоки Россия и СНГ	Блоки США	
		200-299 МВт	300-399 МВт
Число блоков	165	170	149
Коэффициент рабочего времени,%	79,4	68,7	68,0
Коэффициент, %:			
технического использования	84,0	83,4	82,1
использования установленной мощности	64,4	49,6	44,7
Коэффициент, %:			
простоев в резерве	4,9	14,7	13,1
плановых ремонтов	11,3	13,20	14,90
неплановых простоев	4,4	3,40	4,09
Среднее число отказов	5,93	7,51	10,11
Средняя наработка на отказ,ч	1172	801	589

В настоящее время развитие электроэнергетики России ориентировано на сценарий экономического развития страны, предполагающий форсированное проведение социально-экономических реформ с темпами роста производства валового внутреннего продукта 5-6 % в год и соответствующим устойчивым ростом электропотребления порядка 3 % в год. В результате, потребление электроэнергии достигнет в 2020 г. 1620 млрд. кВт.ч. Соответственно уровень максимального потребления электроэнергии 1990 г. будет превышен на 6 % уже в 2010 г.

В связи с этим, по прогнозу РАО «ЕЭС России» в период до 2010гг. намечается ввести 26,5 млн. кВт с долей ТЭЦ 30%. При этом угольные ТЭС и ТЭЦ придется вводить не только в Сибири и на Дальнем Востоке, но и в европейских районах страны.

Основной задачей технического перевооружения электростанций является повышение технико-экономических и экологических показателей ТЭС, в том числе – увеличить КПД паротурбинных установок на 5...7%, а их мощность на 10-15%;

Важным направлением повышения тепловой экономичности является строительство новых угольных блоков на сверхвысокие параметры пара. КПД этих блоков может достигнуть 48-50 %, а в перспективе до 55 %. Это позволит существенно снизить прирост потребности ТЭС в топливе.

При вводе новых мощностей планируется сложившуюся структуру генерирующих мощностей сохранить, чтобы доля мощности ТЭС и ТЭЦ оставалась примерно на существующем уровне (70% от общего объема).

С учетом ожидаемого роста электро- и теплopotребления и ввода (необходимых для этого роста) новых мощностей в ближайшие годы существенно возрастет загрузка энергомашиностроительных предприятий, в т.ч. и ОАО «Силовые машины».

В соответствии с отмеченным выше, одной из основных задач энергомашиностроителей является дальнейшее повышение экономичности и надежности паротурбинных энергоблоков на сверхвысокие (суперсверхкритические) параметры пара, а также создание и освоение ПГУ. Сроки внедрения и освоения головных образцов этих турбоустановок позволяют ожидать их широкого распространения после 2010 года.

Энергетические установки, использующие новые технологии, экономически целесообразны, главным образом, при новом строительстве. Паротурбинные установки на сверхвысокие параметры пара, обеспечивающие существенное повышение КПД энергоблока, в настоящее время находятся в стадии разработки и освоения.

В связи с этим, в ОАО «Силовые машины» (филиал ЛМЗ) проводится большая работа по совершенствованию конструкций, направленная на повышение экономичности как существующих, так и вновь проектируемых паровых турбин. Большое внимание уделялось и продолжает уделяться и одной из крупных серий (более 120 штук) паровых турбин на СКД мощностью 300 МВт. За почти пятидесятилетний период изготовления турбин этого типа они неоднократно проходили процесс модернизации с учетом накопленного опыта эксплуатации и последних достижений в области турбостроения.

Нами были заново рассмотрены и проработаны различные предложения, дающие возможность повысить эффективность и, значит, сделать более конкурентоспособными турбины ЛМЗ. В их числе применение реактивного облопачивания. Как известно, ещё в прошлом веке были найдены два способа организации процесса расширения рабочего тела в ступенях турбины, и турбинные фирмы в мире разделились - одни делали только активные, другие - только реактивные турбины. Долгое время не находилось разницы в возможности достичь наибольшей экономичности между этими двумя направлениями. Однако анализ имеющейся у нас информации о сравнительной экономичности активных и реактивных турбин и проводимые расчёты заставили нас на

современном этапе уточнить это утверждение. Для мощностей 300 МВт и выше - применение реактивного облопачивания в ЦВД позволило получить примерно на 6-8% больший КПД цилиндра, что было подтверждено на турбинах мощностью 300 МВт при их модернизации на Конаковской ГРЭС и Лукомльской ГРЭС.

Для повышения экономичности проточных частей за счет сведения к минимуму протечек в уплотнениях проточной части и потерь, связанных с разгрузкой значительного осевого усилия в реактивной турбине на ЛМЗ разработаны и широко внедряются новые типы надбандажных и концевых уплотнений. В конструкциях клапанов используются жидкометаллические уплотнения, которые полностью исключают протечки пара через штоки клапанов.

Рабочие лопатки всех ступеней современных паровых турбин ЛМЗ выполняются с цельнофрезерованными бандажами, с использованием современных высокоэкономичных профилей. Разработка таких профилей проводится на основе использования современных методов расчета трехмерного парового потока с учетом вязкости рабочего тела (рис. 1), а также на основе обширных экспериментальных исследований в лабораторных условиях.

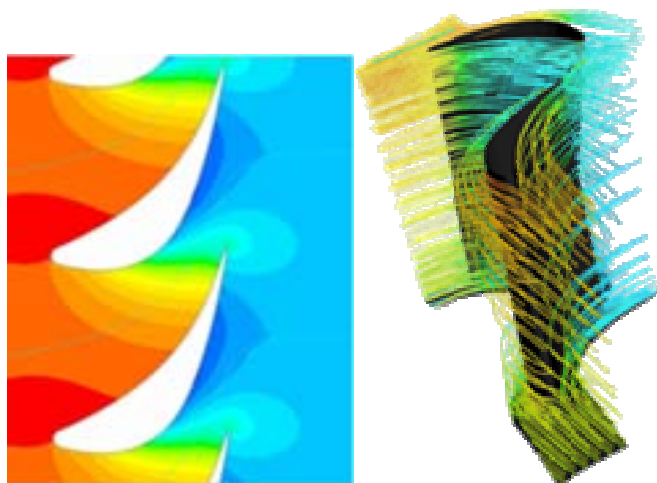


Рис.1. Трехмерное моделирование течения пара в ступени.

Серьезной возможностью в повышении тепловой экономичности тепловых электростанций является повышение начальных параметров пара. Дальнейшее повышение параметров позволяет, как известно, получить выигрыш в экономичности 0,5% на каждые 10 °С повышения температуры свежего пара и пара промперегрева и 0,2% на каждые 1 МПа повышения давления пара. Такие показатели достигнуты на ряде опытных установок на Западе на суперкритические параметры пара.

Повышение начальных параметров пара является существенным резервом в повышении технико-экономических показателей паротурбинных установок (рис.2).

В настоящее время ОАО «Силловые машины» имеют заказ на 6 турбин мощностью 660 МВт для Индийских станций «Сипат» и «Барх» на повышенные параметры пара. Основные параметры

данной турбины и ее конструкция представлены на рис. 3. Первые турбины из этой серии уже изготовлены и поставлены на электростанцию. Создание данной турбины можно считать как первый этап освоения суперсверхвысоких параметров для нашего энергомашиностроения.

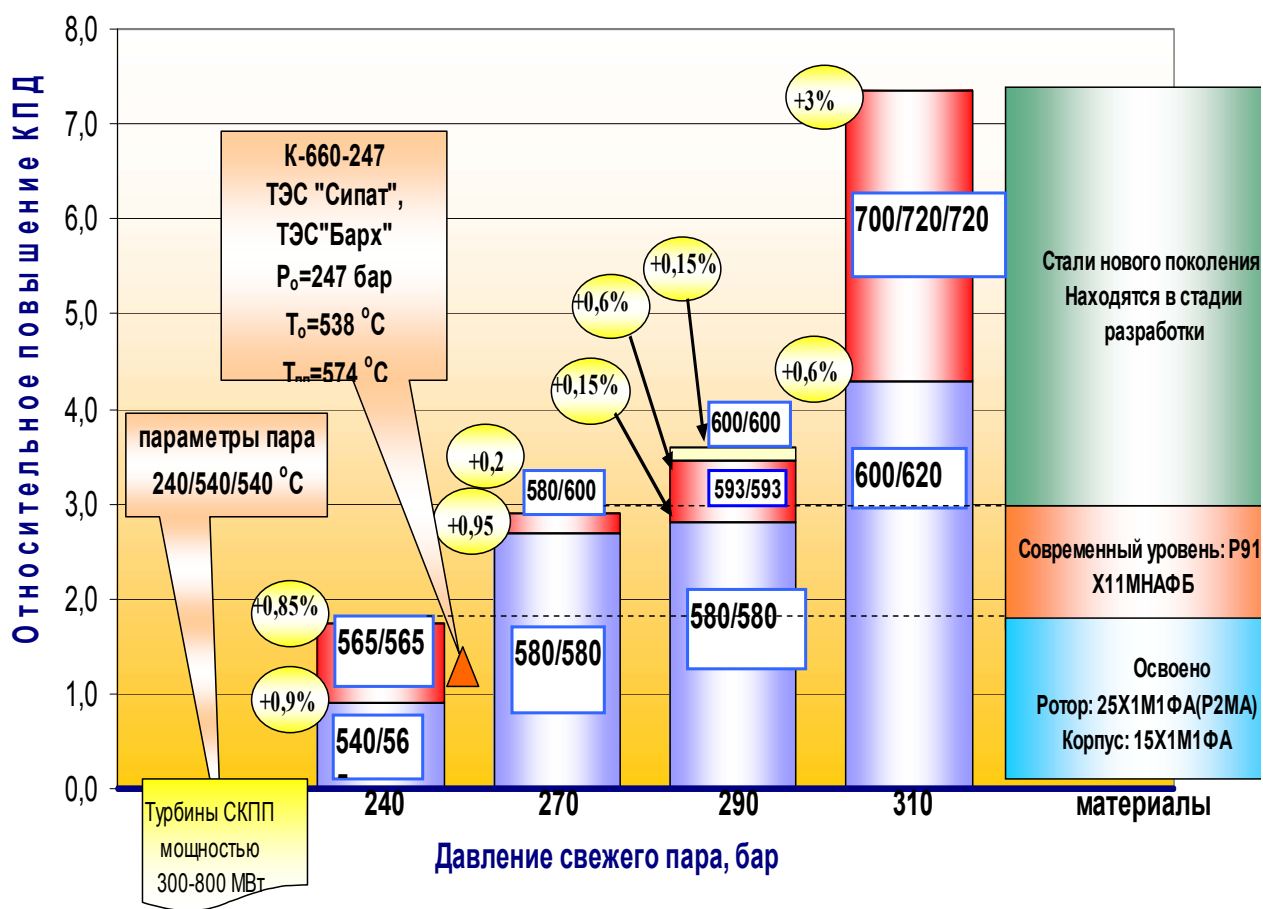
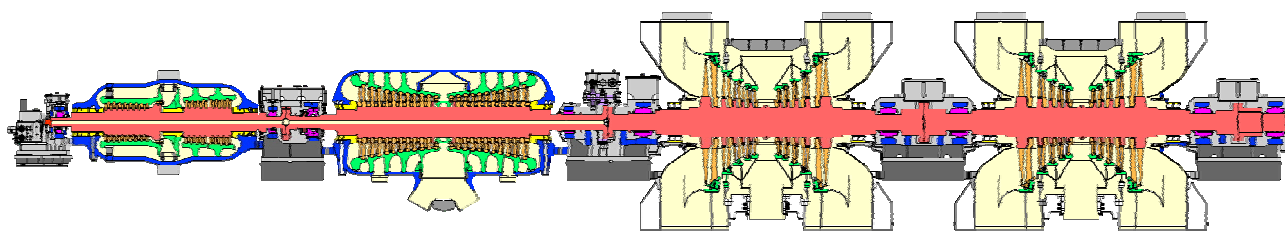


Рис. 2. Повышение эффективности блоков в зависимости от повышения параметров свежего пара и пара промперегрева

В проточной части ЦВД применено реактивное облопачивание. Проточная часть ЦСД выполнена двухпоточной. ЦНД может быть выполнен с лопатками последней ступени 960, 1000 или 1200 мм в зависимости от условий эксплуатации.

Центральной проблемой создания энергоблока на ССКП является разработка материалов с необходимыми характеристиками длительной прочности, трещиностойкости и малоциклового усталости. В настоящее время разработаны отечественные марки стали, не уступающие по своим свойствам зарубежным для использования их в блоках на суперсверхкритические параметры пара.



Мощность:	660 MW
Давление свежего пара:	247 ата
Температура свежего пара:	537 °С
Давление промперегрева:	48 ата
Температура промперегрева	574 °С
Расход свежего пара	2023.8 т/ч
Давление в конденсаторе/ температура охлаждающей воды	0,105 кгс/см ² /33 °С

Рис.3. Паровая турбина К-660-247.

Учитывая богатый опыт в области разработки, изготовления и эксплуатации паровых турбин различной мощности, ОАО «Силловые машины» готово к широкому внедрению последних достижений в области турбостроения при создании современных конкурентоспособных агрегатов, которые могут быть использованы при техническом перевооружении тепловых электростанций.

Для дальнейшего повышения технико-экономических показателей паротурбинных установок ОАО «Силловые машины» уделяют большое внимание развитию современных конструкций паровых турбин на суперсверхкритические параметры пара: начальное давление до 30 МПа и начальная температура и температура до 600 °С.

В соответствии с принятой в ОАО «Силловые машины» инвестиционной программой большое внимание уделяется научным исследованиям, направленным на внедрение самых современных технических решений и технологий в области турбостроения для обеспечения конкурентоспособности выпускаемого оборудования, не уступающего по своим характеристикам лучшим мировым образцам.

Литература:

1. 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.
2. Паровые турбины для электростанций: опыт производства и перспективы развития/ Цветков А.М., Лисянский А.С., Гаев В.Д.//Международная конференция "Power-GEN EUROPE". Тез.докл.конф. Милан, Италия, 2005.
3. Гаев В.Д. Основные направления развития паротурбостроения на Ленинградском металлическом заводе. - Инженерный журнал.Справочник, 2004, №10, с. 23-26.
4. Гаев В. Д. Предложения АО ЛМЗ по совершенствованию паротурбинного оборудования при техническом перевооружении электростанций// Всероссийское совещание «Проблемы технического перевооружения и продления ресурса турбинного оборудования электростанций»: Тез. Докл. – М., 1999.