электронный научно-технический журнал
ИНЖЕНЕРНЫЙ ВЕСТНИК
Издатель ФГБОУ ВПО "МГТУ им. Н.Э. Баумана". Эл No. ФС77-51036. ISSN 2307-0595

Предложения по модернизации конденсатно-питательной системы энергоблоков тепловых электростанций

 # 08, август 2015

Анкудинов А. А.[1], Мелащенко В. И.[1], Панаиотти С. С.[1,*]

УДК: 621.5

[1]Россия, КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана
[*]panaiotti@post.ru

Введение

В настоящее время в электроэнергетике России увеличивается количество оборудования, исчерпавшего свой ресурс [1]. Это в полной мере относится и к насосам. Так, например, при эксплуатации крупных блоков тепловых электростанций третье место по числу аварийных остановок занимают главные питательные насосы. На большинстве энергетических блоков ресурс этого оборудования исчерпан, и особое значение для энергетики имеет их незамедлительная замена или модернизация. В тепловой и атомной энергетике насосы других типов также выработали свой ресурс, морально и физически устарели.

Применяемые в настоящее время на ТЭС конденсатные, бустерные и питательные насосы не соответствуют современным требованиям: имеют недостаточный КПД, повышенный шум и вибрацию; в конструкциях применяются устаревшие концевые сальниковые и щелевые уплотнения валов. Из-за низких кавитационных качеств питательных насосов на входе в главный питательный насос устанавливаются бустерные насосы. Это усложняет схему и снижает надежность всего энергоблока. Так, в энергетических блоках мощностью 300 Мвт используются три предвключенных насоса с подачей 50% от номинальной каждый, что приводит к снижению надежности работы электростанции в целом. Опыт эксплуатации энергоблоков показывает, что бустерные насосы могут выходить из строя из-за кавитационного разрушения проточной части и размывов корпуса.

На тепловых электростанциях с мощностью блоков 500, 800, и 1200 МВт в качестве главных питательных насосов использовались насосы типа ПН 1500-350 производства АО «Пролетарский завод» с приводной турбиной К – 17 (ОК – 18ПУ), изготавливаемой ОАО «Калужский турбинный завод» (рис. 1). Анализ работы этих насосов показал, что их основными недостатками является повышенная вибрация, заклинивание ротора из-за темпе-

ратурного перекоса на пусковых режимах, кавитационная эрозия на входе в первую ступень, высокие утечки через концевые уплотнения вала [2].

Модернизация питательного насоса ПН 1500-350

На ОАО «КТЗ» и Калужском филиале МГТУ им Н.Э. Баумана были проведены исследования по выяснению причин низкой надежности и намечены пути модернизации насоса ПН 1500-350. В рабочем колесе сохранили 7 лопастей, а 6- или 8-канальные направляющие аппараты были заменены на 12-канальные, что улучшило виброхарактеристики насоса. На рабочих колесах (РК) применены «сотовые» уплотнения. Между третьей и четвертой ступенями размещена дополнительная гидростатическая опора. Направляющие аппараты не имели горизонтального разъема и использована посекционная сборка насоса. Три насоса с модернизированной проточной частью были установлены на энергетических блоках Пермской, Рязанской и Троицкой ГРЭС и показали высокие эксплуатационные качества.

Перед первой центробежной ступенью этого насоса предполагалось установить предвключенное устройство. Улучшение кавитационных качеств насоса дало бы возможность реализовать безбустерную схему питания парогенератора на большинстве энергоблоков тепловых и атомных электростанций. Ранее безбустерная схема питания была осуществлена АО «Пролетарский завод» на блоке 800 МВт Пермской ГРЭС. С этой целью разработано новое рабочее колесо, водорез, кольцо уплотнения и втулка. Для улучшения кавитационных качеств новая первая ступень была спроектирована с увеличенной площадью входного участка РК. Были изменены элементы подвода к РК: входной патрубок и водорез. На режимах полной нагрузки и недогрузки энергоблока определялись напорные и кавитационные характеристики. Проведенные испытания показали, что °разработанный вариант 1-ой ступени имеет повышенный напор и лучшие кавитационные качества. На номинальном режиме насоса при подаче 1500 $м^3$/ч; частоте вращения 4665 об/мин; температуре перекачиваемой воды 165 °С критический кавитационный запас составил 56 м. (в штатном варианте — 93м). Общая наработка новой первой ступени составила около 6000 часов, причем около 60% этого насос работал на режимах с уменьшенными подачей 850 $м^3$/ч и частотой вращения 3380 об/мин. После испытаний в РК обнаружены кавитационные разрушения лопастей эллиптической формы 20 х 30 мм. Максимальное разрушение наблюдалось в центре практически на всю толщину лопасти (5 мм). Таким образом, данная модернизация не обеспечила требуемые технические характеристики насоса.

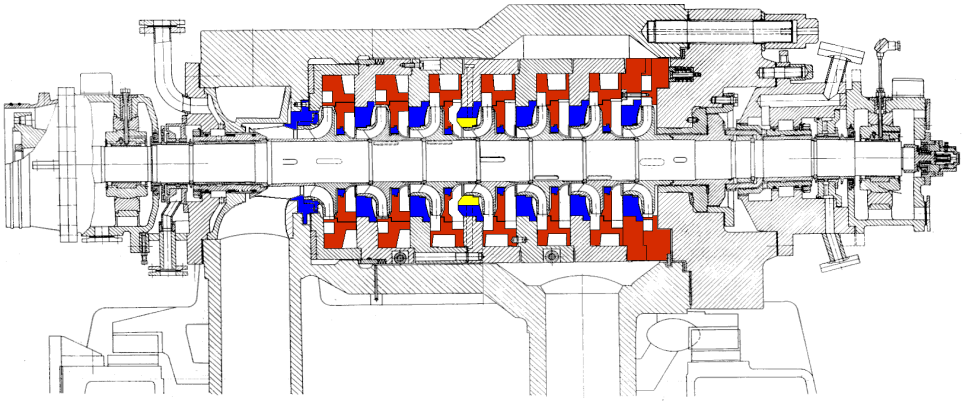

Рис. 1. Модернизированный питательный насос ПН 1500 – 350

Известны следующие способы улучшения кавитационных качеств центробежных насосов: выполнение РК первой ступени с увеличенной площадью входа на лопасти, применение бустерного насоса с более низкой частотой вращения, чем у основного насоса; применение предвключенного осевого колеса — шнека. Наиболее часто с целью улучшения кавитационных качеств на входе в центробежное колесо первой ступени устанавливается шнек. Это позволяет снизить допускаемый кавитационный запас насоса. У лучших шнековых колес срывной кавитационный коэффициент быстроходности составляет $C_{кр} \geq 3000$. Однако, наряду с высокими кавитационными качествами предвключенный шнек имеет существенные недостатки. При его работе при подаче меньше 50% от оптимальной, во входной части шнека, образуются обратные токи жидкости, усиливающиеся с уменьшением подачи. Обратные токи приводят к повышенной вибрации, неустойчивой работе, низкочастотным пульсациям давления, имеющим характер автоколебаний. Кавитационные автоколебания достигают большой амплитуды и могут привести к выходу насоса из строя.

Как показано в работе [3], одним из перспективных способов улучшения кавитационных качеств насоса, снижения шума, вибрации и низкочастотных пульсаций давления и подачи является установка на входе в насос осевихревой ступени (ОВС). Она представляет собой ступень, состоящую из осевого колеса и размещенной на его периферии неподвижной винтовой решетки, ход нарезки лопастей которой противоположен ходу лопастей шнека. Течение жидкости в ОВС имеет сложный пространственный характер с вихревым течением на периферии. В центральной части каналов неподвижной решетки развиваются вихри, имеющие форму жгута. Преимущества ОВС перед шнеком проявляются наиболее значительно при подачах, меньших оптимальной. Из-за деления каверн большого объема на множество мелких снижается вероятность появления кавитационных автоколебаний. Благодаря демпфирующему эффекту парогазовых образований в центральной части вихрей уменьшаются уровни пульсаций и вибраций в широком спектре частот. Напор и потребляемая мощность монотонно уменьшаются при увеличении подачи, что положительно сказывается на стабильности работы насоса. Осевые габариты и КПД шнека и ОВС остаются практически неизменными.

В Калужском филиале МГТУ им. Н.Э. Баумана на кафедре «Гидравлические машины и гидропневмоавтоматика» была рассчитаны модели предвключенной ОВС и первой ступени питательного насоса ПН 1500-350. Модели имели геометрические размеры в 2,2 раза меньшие, чем у натуры (рис.2). В лаборатории лопастных насосов кафедры при натурной частоте вращения 4700 об/мин проведены энергетические и кавитационные испытания этих моделей (рис. 3 и рис. 4).

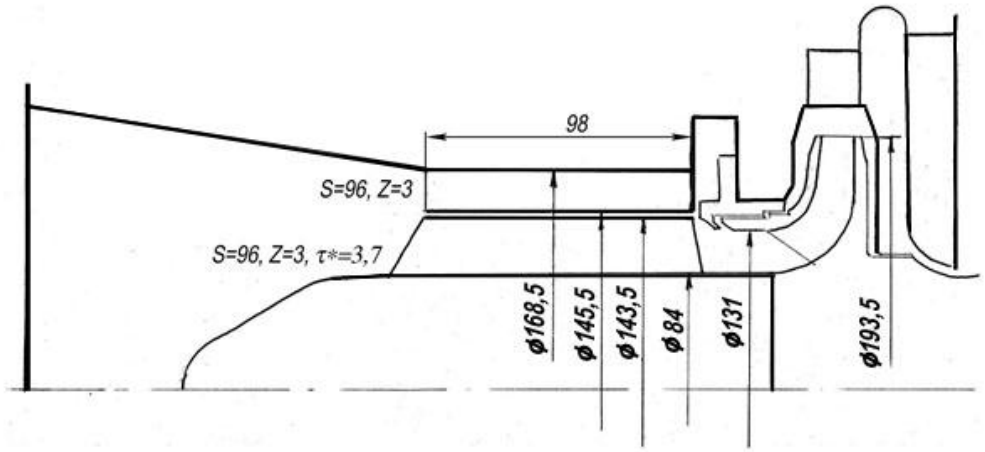

Рис. 2. Схема моделей ОВС и первой ступени насоса ПН 1500-350

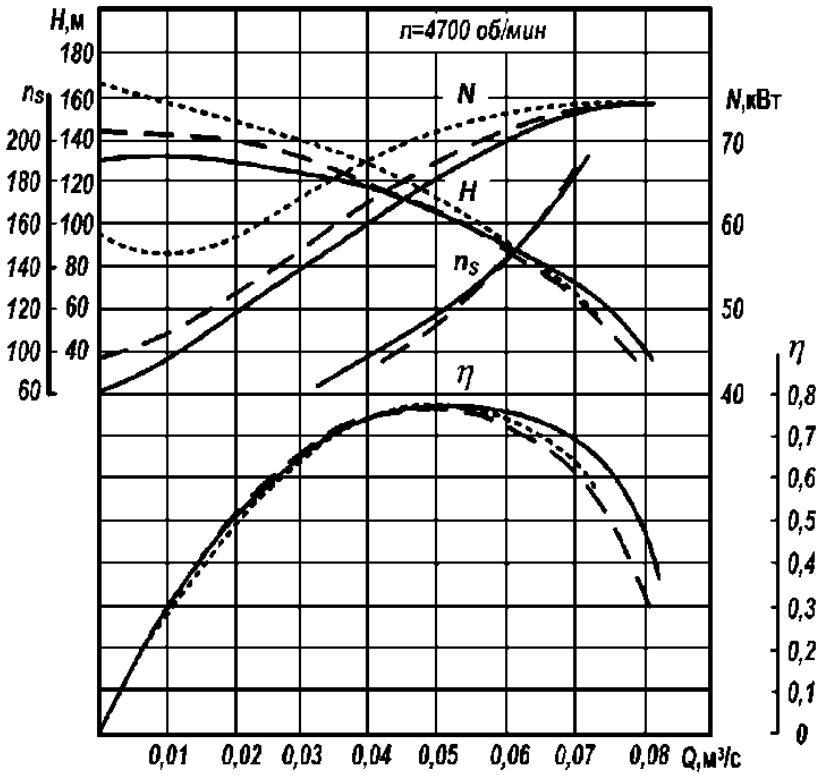

Рис. 3. Энергетические характеристики модели с одним РК без предвключенных устройств (————), со шнеком (— — —) и с ОВС (- - - - - - -)

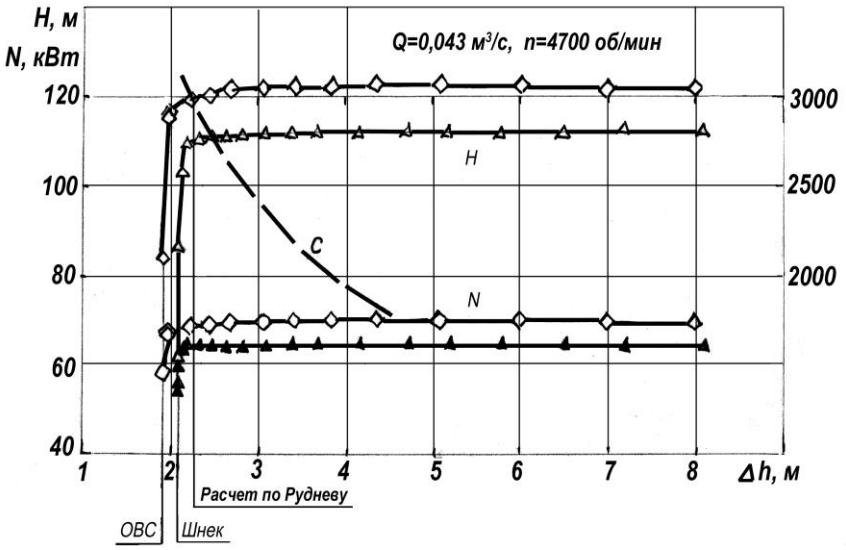

Рис. 4. Кавитационные характеристики модели с ОВС и шнеком

Экспериментальные энергетические и кавитационные характеристики подтвердили выполненные расчеты. Как показано в работе [4], кавитационный запас на срыве составил 1,85 м, а соответствующий кавитационный коэффициент быстроходности равен 3455.

На экспериментальных стендах КФ МГТУ и ОАО «КТЗ» испытывались и другие ОВС, которые сравнивались со шнеками. На рис. 5 представлены осциллограммы пульсаций избыточного давления за одиночными шнеком и ОВС, полученные при одинаковых подачах и частоте вращения. Пульсации давления, измеренные в патрубке за ОВС существенно ниже, чем за шнеком.

Установка ОВС в первой ступени питательного насоса даст возможность получить более высокие кавитационные качества насоса, что позволит реализовать на энергоблоках мощностью 300…1200 МВт безбустерную схему питания парогенератора, и приведет к снижению числа единиц оборудования ТЭС.

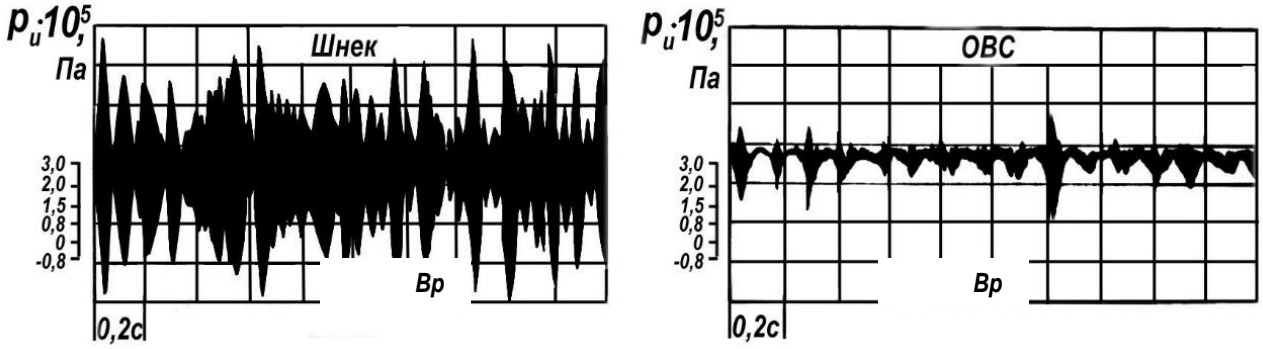

Рис. 5. Осциллограммы пульсаций избыточного давления за шнеком и ОВС

Заключение

Таким образом, переход на безбустерную схему питания парогенератора (например, для блоков 800 МВт) позволит исключить не только бустерный насос, работающий от

турбины через понижающий редуктор, но и редуктор. Это уменьшит стоимость и повысит надежность всего блока. Установка ОВС на входе в насос является перспективным способом уменьшения кавитационного запаса на входе в насос, снижения шума, вибрации и низкочастотных пульсаций давления и подачи.

Список литературы

1. Кучеров Ю.Н., Волков Э.П. Стратегические направления и приоритеты развития электроэнергетики // Эффективное оборудование и новые технологии в российскую тепловую энергетику: Сб. докладов / Под общ. ред. Г.Г. Ольховского. 2-е изд., доп. (Международная конференция 8–10 октября 2001г.) М.: АООТ «ВТИ». 2001. С. 4-14
2. Кирюхин В.И., Циммерман С.Д., Семенов Ю.М., Анкудинов А.А., Васин В.А.. Модернизация питательных насосов энергоблоков 150 – 1200 МВт на ОАО КТЗ // Электрические станции. 2003. № 6. С. 42–47.
3. Анкудинов А.А., Туркова Л.А. Применение предвключенной осевихревой ступени в насосах Калужского турбинного завода / Современное состояние и перспективы развития гидромашиностроения в XXI веке // Труды МНТК. СПб: Изд-во СПбГПУ. 2003. С. 20 - 25
4. Анкудинов А.А., Панаиотти С.С., Тимушев С.Ф. Предвключенное устройство со сверхвысокой всасывающей способностью и низким уровнем низкочастотных пульсаций давления и расхода // Гидравлические машины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика. Современное состояние и перспективы развития. Сборник научных трудов 8-й Всероссийской НТК. 2014. С.18 - 28