

НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПИТАТЕЛЬНЫХ НАСОСОВ ЭНЕРГБЛОКОВ МОЩНОСТЬЮ 800 МВт НИЖНЕВАРТОВСКОЙ ГРЭС

В.А. Васильев, А.Ю. Ницкий

Сообщается о мероприятиях, реализованных при реконструкции питательных насосов ПН 1500-350-3 и ПН 1500-350-4. Приводятся некоторые результаты промышленной эксплуатации модернизированных гидромашин. Подробно описано и проанализировано повреждение насоса ПН 1500-350-4, связанное с его заклиниванием при пуске, разрушением пускового подшипника и поломкой вала. Выявлены причины технического происшествия.

1. Введение

В настоящее время на паротурбинных блоках мощностью 800 МВт в качестве питательных насосов наряду с другими применяются насосы типа ПН 1500-350 и ПН 1500-350-1. Длительный опыт эксплуатации питательных насосов обнаружил у них ряд недостатков. Для их устранения заводом-изготовителем была осуществлена доработка и модернизация насосов. Эти насосы получили обозначения ПН 1500-350-3 и ПН 1500-350-4 (рис. 1 и 2).

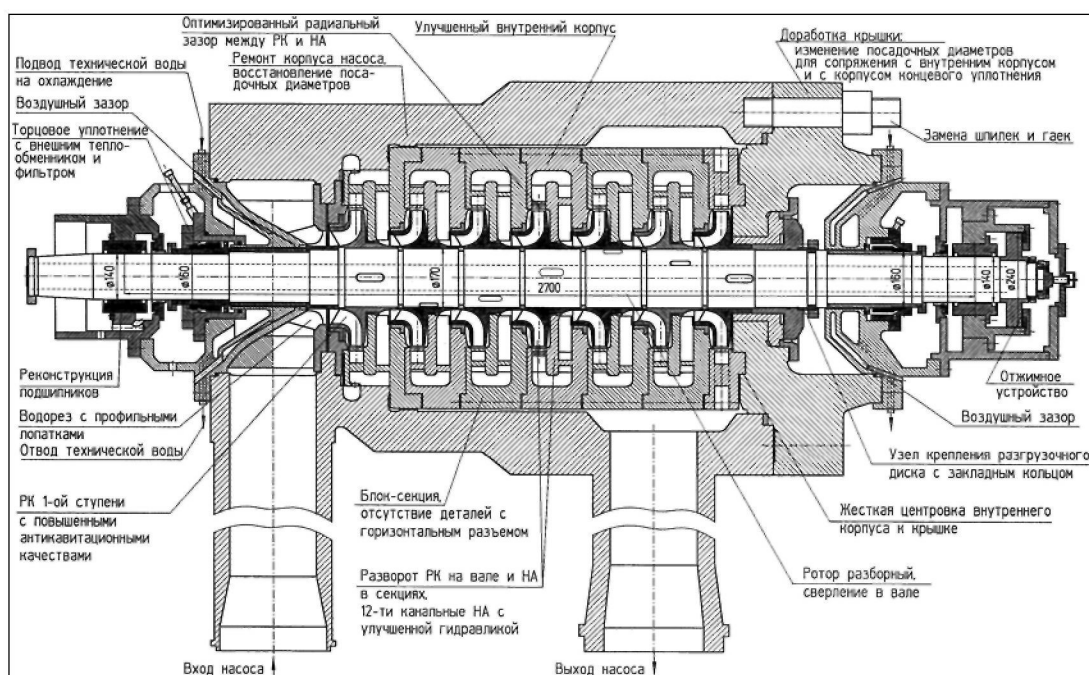


Рис. 1. Проект питательного насоса ПН 1500-350-3

Первоначально в конструкцию насосов предполагалось ввести следующие изменения:

- для снижения уровня вибрации и повышения надежности насосов, соотношение количества лопастей рабочего колеса и лопаток направляющего аппарата принять равным 7/12, секции направляющего аппарата выполнить в виде неразборных блок-секций, а для осуществления сборки насоса ротор выполнить разборным, рабочие колеса посадить на вал по переходной посадке;
- концевые уплотнения выполнить торцовыми, используя уплотнения фирмы «Burgman»;
- корпуса подшипников жестко соединить с корпусами концевых уплотнений с целью исключения резонанса системы «ротор-опоры»;
- рабочее колесо первой ступени спрофилировать с расширенным входом для устранения кавитации.

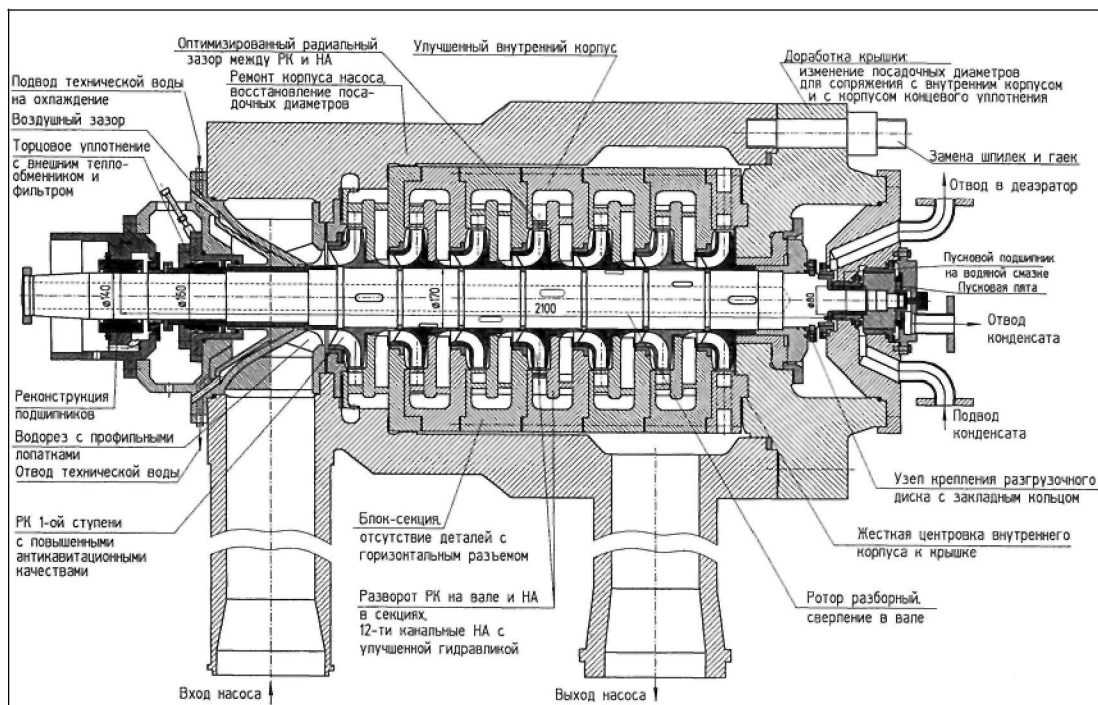


Рис. 2. Проект питательного насоса ПН 1500-350-4

Центробежный насос ПН 1500-350-4 в отличие от насоса ПН 1500-350-3 имеет масляный подшипник скольжения на входе и пусковой подшипник, работающий на подводимом конденсате, на выходе (см. рис. 1 и 2). В корпусе пускового подшипника установлено отжимное устройство, работающее на конденсате и предназначенное для гарантированного наличия зазора между разгрузочным диском и пятой во время пуска - останова и работы на валоповороте.

2. Реально выполненные мероприятия при реконструкции насосов

Насос ПН 1500-350-3 установлен на энергоблоке 800 МВт №3 Сургутской ГРЭС-2. В этом насосе остались без изменения узлы крепления подшипниковых опор, не внедрены торцовые уплотнения, сохранена гидропята. Изменено соотношение количества лопастей рабочего колеса и лопаток направляющего аппарата - 7/12. Секции направляющего аппарата выполнены в виде неразборных блок-секций, ротор выполнен разборным, рабочие колеса посажены на вал по переходной посадке.

Насос ПН 1500-350-4 установлен на энергоблоках с 1 по 6 Сургутской ГРЭС-2 и на 1 и 2 энергоблоках Нижневартовской ГРЭС. В этом насосе внедрен пусковой подшипник, работающий на воде (конденсате), укорочен вал, снижен прогиб ротора, изменено соотношение количества лопастей рабочего колеса и лопаток направляющего аппарата до величины 7/12. Секции направляющего аппарата выполнены в виде неразборных блок-секций, ротор выполнен разборным, рабочие колеса посажены на вал по переходной посадке. Не внедрены лишь торцовые уплотнения.

3. Результаты реконструкции

Вследствие изменения соотношения количества лопастей рабочего колеса и лопаток направляющего аппарата - 7/12 на насосах ПН 1500-350-3 и ПН 1500-350-4 практически решена проблема лопастной вибрации, которая не превышает 2-3 мм/с. Общий уровень вибрации не превышает 3-4,5 мм/с в том случае, если отсутствует оборотная вибрация. Если же присутствует небаланс, уровень вибрации может достигать 10-15 мм/с, как это было на питательных насосах энергоблока №2 Нижневартовской ГРЭС при пуске блока. При нагрузке 808 МВт уровни вибрации для насосов 2 блока (станционный номер 2А и 2Б) представлены в табл. 1. Для ПН 2А частота вращения составляла 4218 мин⁻¹, давление на выходе - 301 атм, расход - 1170 т/ч; для ПН 2Б частота вращения составляла 4180 мин⁻¹, давление на выходе - 301 атм, расход - 1180 т/ч.

Таблица 1

Уровни вибрации питательных турбонасосов

Номер подшипника	Направления вибрации	Уровень (амплитуда) мм/с	
		ПН 2А	ПН 2Б
5 передний подшипник турбины	В	2,07	0,64
	П	0,41	2,45
7 передний подшипник насоса	В	5,04	4,46
	П	9,0	15,0
8 задний подшипник насоса	В	5,0	5,09
	П	1,8	1,12

Основной проблемой реконструированного насоса является невозможность работы насоса на валоповороте и заклинивание ротора при пусках и остановах. Пуск турбонасосного агрегата приходится проводить на частоте вращения выше 1000 мин^{-1} . При этом перегревается выхлоп приводной турбины, датчик осевого сдвига работает не более двух, трех недель, затем требует замены. С целью нормализации работы пускового подшипника, организован подвод конденсата в зону смазочного клина водяного подшипника. Подвод конденсата осуществляется через специально фрезерованные канавки и отверстия (рис. 3).

Примерно через пять-шесть тысяч часов работы пусковой подшипник приходится менять, так как поверхность подшипниковой опоры становится неработоспособной из-за задеваний при пусках и остановах. Подшипник представляет собой бронзовую втулку с лазерным упрочнением на валу и корпус подшипниковой опоры, выполненный из высоколегированной стали. На рис. 4 показаны детали подшипника после разборки.



Рис. 3. Фрезерованные пазы для гидростатического подвода конденсата



Рис. 4. Пусковой, водяной подшипник после 5000 часов работы

За время эксплуатации питательных турбонасосов ПН-1500-350-4 случилось несколько серьезных технических происшествий.

На Нижневартковской ГРЭС при пуске энергоблока №2 произошло заклиниванием насоса с полным разрушением пускового подшипника и поломкой вала. Последовательность событий и их причины были следующими. При проведении работ по расхолаживанию блока №2 питательный турбонасос (ПТН) ПН 1500-350-4 работал с частотой вращения 2000 мин^{-1} на линию рециркуляции с давлением на выходе $8,7 \text{ МПа}$ и температурой воды 149 градусов.

Затем произошло внезапное ограничение подачи питательной воды на вход бустерного насоса ПТН. В результате этого произошел кавитационный срыв бустерного насоса. Давление на его выходе снизилось с $0,84 \text{ МПа}$ до $0,28 \text{ МПа}$, что равно давлению на входе бустерного насоса.

Как следствие, произошел кавитационный срыв ПТН со снижением давления на выходе от $8,7 \text{ МПа}$ до $0,8 \text{ МПа}$. Показание осевого сдвига изменилось с $-0,2$ до $-0,147 \text{ мм}$. Уровень вибрации до ограничения подачи не превышал 2 мм/с . После кавитационного срыва насоса уровень вибрации скачкообразно повысился с 2 до 5 мм/с . С указанным кавитационным срывом насос работал в течение 20 минут. При этом показания осевого сдвига плавно изменились от $-0,147$ до $-1,17 \text{ мм}$.

Далее после закрытия задвижки на вход бустерного насоса подача была увеличена и ПТН вышел из кавитационного срыва. При этом уровень вибрации вернулся в исходное положение и составлял примерно 2 мм/с. Осевой сдвиг остался на уровне -1,0333, давление на выходе восстановилось до величины 0,73 МПа. После этого питательный насос был остановлен. После останова осевой разбег составил 0,65 мм. Во время останова разборка насоса не проводилась. Затем, в течение пяти дней было проведено 4 пуска и останова ПТН. При этом показания прибора осевого сдвига не соответствовало расчетным величинам. При последнем останове был вскрыт насос, обнаружены повреждения подшипникового узла.

Вероятной причиной повреждений явилась работа насоса в кавитационном режиме. На рис. с 5 по 15 приведены фотографии элементов подшипникового узла после разрушения. Из представленных рисунков видно, что разрушение корпуса подшипниковой опоры на Нижневартовской ГРЭС произошло по усталостной трещине, образованной благодаря концентратору напряжений в районе фрезерованного паза для гидростатической подачи конденсата в смазочный слой. Разрушение произошло с дополнительным разрушением мелких фрагментов корпуса подшипника (рис. 5-7). Бронзовая втулка с лазерным упрочнением разрушена и разделена на несколько фрагментов (рис. 8-10).



Рис. 5. Корпус пускового подшипника после разрушения. Вид 1



Рис. 6. Корпус пускового подшипника после разрушения. Вид 2



Рис. 7. Корпус пускового подшипника после разрушения. Вид 3



Рис. 8. Втулка пускового подшипника после разрушения. Вид 1

Разрушение пускового подшипника сопровождалось поломкой вала. На рис. 11-14 приведены фрагменты вала и показана поверхность усталостного излома вала. Разрушение подшипника и вала насоса сопровождалось также натираниями гиропяты и подпятника. На рис. 15 показаны натирания на поверхности горизонтальной кольцевой щели гидропята.

Разрушение вала произошло при незначительном уровне вибрации питательного насоса: от 2-3 мм/с до 4 мм/с. Так как уровень вибрации был достаточно низок, момент разрушения не был зафиксирован. Разрушение было выявлено только при останове насоса. По характеру задеваний



Рис. 9. Втулка пускового подшипника после разрушения. Вид 2



Рис. 10. Втулка пускового подшипника после разрушения. Вид 3



Рис. 11. Корпус уплотнения и вал с усталостной трещиной. Вид 1



Рис. 12. Корпус уплотнения и вал с усталостной трещиной. Вид 2



Рис. 13. Корпус уплотнения и вал с усталостной трещиной. Вид 2

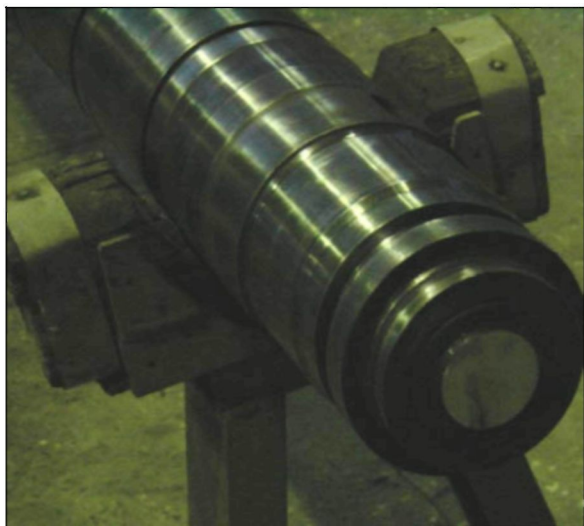


Рис. 14. Место излома вала

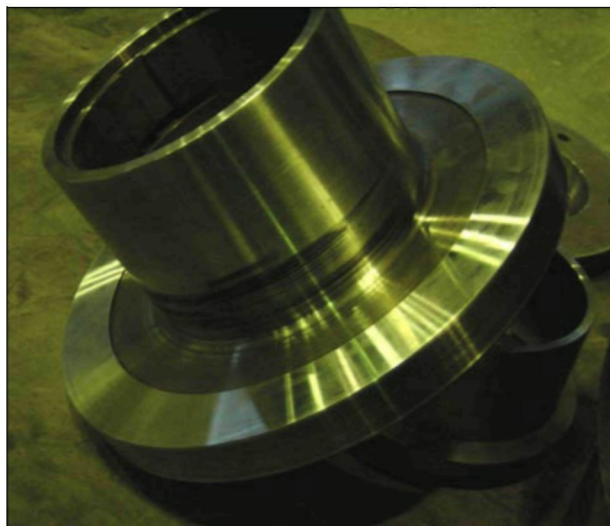


Рис. 15. Гидроплита и натирь по горизонтальной поверхности уплотнения

гидроплиты (см. на рис. 15 некруговые натирь кольцевой щели) можно предположить, что ротор совершал прецессионное движение с максимальной амплитудой в районе разгрузочного устройства и пускового подшипника.

4. Выводы

1. При реконструкции питательного насоса ПН 1500-350-4 внедрен пусковой подшипник, работающий на воде, укорочен вал, снижен прогиб ротора. Изменено соотношение количества лопастей рабочего колеса и лопаток направляющего аппарата до соотношения 7/12. Секции направляющего аппарата выполнены в виде неразборных блок-секций, ротор выполнен разборным, рабочие колеса посажены на вал по переходной посадке.

2. Опыт эксплуатации показал что, пусковой подшипник не выполняет основную функцию. При пусках и остановах происходит заклинивание ротора на валоповороте. Пуск и прогрев агрегата вынуждены проводить на частоте вращения выше 1000 об/мин. При этом перегревается выхлоп приводной турбины.

3. Эксплуатация насосов привела к нескольким серьезным техническим происшествиям. На Сургутской ГРЭС-2 произошло разрушение проточной части с полным разрушением пускового подшипника. На Нижневартовской ГРЭС - полное разрушение пускового подшипника и поломка вала питательного насоса.

4. Причиной аварийных ситуаций явились конструктивные дефекты при реконструкции насоса, а именно:

- а) неверно подобрана пара трения пускового водяного подшипника;
- б) фрезерованный паз корпуса пускового подшипника выполнен с концентратором напряжения;
- в) концентратором напряжения является переход от диаметра вала 170 мм к диаметру посадочного места пускового подшипника.

5. Конструкция узла пускового подшипника требует доработки, в существующем виде есть опасность массового выхода из строя питательных насосов типа ПН 1500-350-4 блоков мощностью 800 МВт.