



3. <http://ru.wikisource.org/wiki/> Акт технического расследования причин аварии на Саяно-Шушенской ГЭС 17 августа 2009 года. Материал из Википедии — свободной библиотеки.

4. http://www.powermag.com/issues/features/Investigating-the-Sayano-Shushenskaya-Hydro-Power-Plant-Disaster_3229.html. Investigating the Sayano-Shushenskaya Hydro Power Plant Disaster// By A Boyko and S Popov, EKRA-Sibir Ltd. and Nemanja Krajisnik, Siemens Transmission and Distribution Ltd.

5. *Брызгалов В.И.* Из опыта создания и освоения Красноярской и Саяно-Шушенской гидроэлектростанций. Красноярск: Сибирский изд. дом "Суриков", 1999. — 562 с.

6. *Гидротехническое* строительство. НТФ "Энергопрогресс". Ежемесячный научно-технический журнал. — 2008. — № 11.

7. *Стефанишин Д.В., Романчук К.Г.* Про граничні оцінки ймовірностей техногенних аварій внаслідок малоїмовірних сполучень навантажень// Problems of decision making under uncertainties. Abstracts of XVI Int. Conf. Yalta, Ukraine, October 4—8, — 2010. — P. 128—129.

8. *Стефанишин Д.В.* Вибрані задачі оцінки ризику та прийняття рішень за умов стохастичної невизначеності. — К.: Азимут-Україна, 2009. — 104 с.

9. *Стефанишин Д.В., Романчук К.Г.* Оцінка ймовірності відмови зарезервованої системи з автоматичним перемиканням на резерв// Вісник НУВГП. Зб. наук. праць. Вип. 4 (44). Рівне: НУВГП. — 2008. — С. 334—340.

10. *Lagerholm S.* Safety and reliability of spillway gates// Repair and upgrading of dams Symposium. —Stockholm: — 1996. — P. 362—373.

© Романчук К.Г., Стефанишин Д.В., 2014



УДК 621.313

ГРУБОЙ А.П., главный конструктор,
ДЬЯКОВ В.И., канд. техн. наук, гл. научн. сотр.,
КУБАНОВ В.Г., зам. гл. конструктора,
САЛТОВСКАЯ Д.А., вед. инж., ГП завод "Электротяжмаш"

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕМПЕРАТУРНОГО КОНТРОЛЯ ПОДПЯТНИКОВ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ГИДРОАГРЕГАТОВ

Подпятники вертикальных гидроагрегатов являются предельно нагруженными конструктивными элементами с удельными нагрузками на опорные поверхности трения сегментов до $65 \div 70$ кгс/см² и температурами масла в зонах трения до $95 \div 100$ °С.

В связи с этим к узлам подпятника и к подпятнику в целом предъявляются высокие требования на всех стадиях их создания и функционирования: при проектировании и изготовлении на заводе, при сборке и монтаже на ГЭС и ГАЭС, при эксплуатации.

Эти требования зафиксированы в методических указаниях по эксплуатации подпятников вертикальных гидроагрегатов РД 34.31.501-97.

Основные из них заключаются в следующем. Макронеровность зеркальной поверхности диска подпятника в радиальном направлении не должна превышать 0,03 мм для дисков диаметром до 2 м и 0,04 мм для дисков диаметром 2 м и более.

В тангенциальном направлении для жесткой опоры суммарная макронеровность зеркальной поверхности диска подпятника и перпендикулярность его к оси вала гидроагрегата должна быть не более 0,08 мм для однорядных подпятников и не более 0,12 мм для двухрядных и гидравлических подпятников.

Шероховатость зеркальной поверхности диска должна быть не более 0,32 мкм и не менее

0,16 мкм. В отдельных местах, не более 10 % зеркальной поверхности диска возле наружного и внутреннего диаметров, где нет соприкосновения диска с поверхностью сегментов, допустима чистота 0,63 мкм.

Равномерность распределения нагрузки между сегментами должна обеспечиваться с точностью до 10 % для подпятников с любым типом покрытий сегментов — баббиттовых или фторопластовых. Разность регулировки высотного положения сегментов для подпятников на гидравлической опоре должна быть не более 0,2 мм.

Тангенциальный и радиальный эксцентриситеты сегментов должны устанавливаться для каждого подпятника в зависимости от его параметров (окружная скорость, конфигурация сегментов и др.). Значение оптимальной величины эксцентриситетов устанавливается расчетным путем и, при необходимости, уточняется специальными испытаниями.

Неправильная установка значения тангенциального эксцентриситета уменьшает несущую способность сегментов подпятника, а отклонения в установке радиального эксцентриситета приводят к ускоренному износу наружной или внутренней частей рабочих поверхностей сегментов.

Необходимым условием надежной работы подпятника является обеспечение самоустанавливаемости сегмента — возможность легкого по-



ворота сегмента вместе с тарельчатой опорой на опорном болте. Наилучшие условия самоустанавливаемости сегмента обеспечивает схема опирания: тарельчатая опора – опорный болт со сферической поверхностью (плоскость по сфере). Смятие сферической поверхности опорного болта не должно превышать 0,05 мм, глубина отпечатка на опорной поверхности тарелки не более 0,25 мм.

При работе гидроагрегата в подпятнике с достаточной точностью должна контролироваться температура сегментов. Термометры сопротивления для периодического контроля температуры должны быть установлены в следующем числе сегментов:

- в подпятниках на гидравлической опоре и в однорядных подпятниках на жесткой опоре в каждом сегменте;

- в двухрядных подпятниках – в половине сегментов каждого ряда (через один сегмент).

В настоящее время температуру сегментов подпятников гидроагрегатов измеряют с помощью термопреобразователей ТСП-1388 и ТСМ-1388, установленных в корпусе сегмента на расстоянии $20 \div 40$ мм от рабочей поверхности. Типовая установка термопреобразователя показана на Рис. 1.

Штатная система термоконтроля, при которой термопреобразователи установлены на расстоянии $20 \div 40$ мм от поверхности трения, способна достаточно корректно фиксировать медленное повышение температуры сегментов, вызванное ухудшением состояния системы охлаждения или поверхности трения, защемлением сегментов в упорах, неоптимальным положением сегментов и т. д.

Однако такая система термоконтроля недостаточно чувствительна и слишком инерционна для регистрации быстроразвивающихся повреждений поверхности трения и предотвращения аварийных ситуаций.

Если по каким-либо причинам происходит повреждение рабочей поверхности сегментов и зеркальной поверхности упорного диска, сопровождающееся быстрым повышением температуры, то существующая система термоконтроля слишком поздно реагирует на это (задержка порядка 10 мин) и не исключена остановка агрегата защитой после того, как авария произошла.

Особенно это относится к сегментам подпятника, которые имеют не баббитовый антифрикционный слой на рабочей поверхности, а метал-

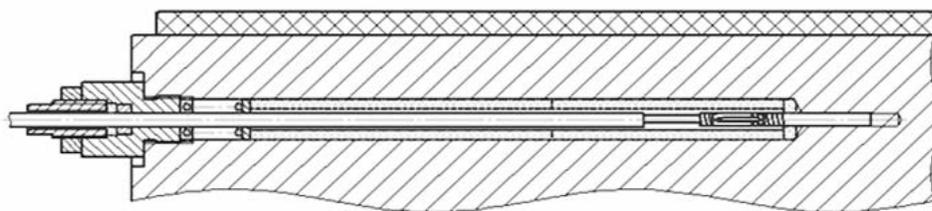


Рис. 1.

лофторопластовое покрытие (ЭМП-слой), у которого коэффициент теплопроводности в 176 раз меньше, чем у баббита.

Таким образом, применяемые способы контроля температуры сегментов являются недостаточно эффективными и не могут служить достаточно надежным средством защиты подпятника от аварийных ситуаций, так как авария не предупреждается, а лишь регистрируется.

Для обеспечения безинерционного контроля температуры сегментов подпятника необходимо выполнять измерение температуры с омыванием чувствительного элемента датчика маслом из зоны максимальных рабочих температур с рабочей поверхности сегмента.

Для этого в корпусе сегмента 1 подпятника (Рис. 2), имеющего антифрикционное покрытие 2 с низким коэффициентом теплопроводности, выполняется отверстие 3 на рабочей поверхности сегмента в зоне максимальных температур, которое соединено с отверстием 6. Через отверстия 3, 6 горячее масло из зоны трения поступает в канал расположения чувствительного элемента 4 термодатчика и омывает его, протекая в канал слива 7.

В необратимых гидрогенераторах отверстие для отвода масла, омывающего чувствительный элемент датчика температуры, располагается на $1/3$ размера длины сегмента от сбегающей кромки и $1/3$ ширины от внешней кромки сегмента.

Для обратимых гидроагрегатов – в середине

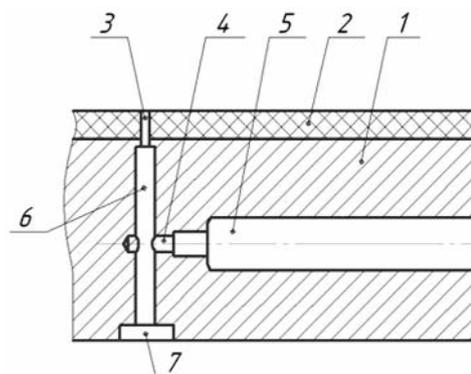


Рис. 2. 1 – корпус сегмента, 2 – антифрикционное покрытие, 3 – отверстие на рабочей поверхности сегмента в зоне максимальных температур, 4 – канал для чувствительного элемента датчика температуры, 5 – место для установки корпуса датчика температуры, 6 – сквозное сливное отверстие, 7 – канал для слива



длины сегмента и на 1/3 ширины от внешней кромки сегмента.

Приспособление для разметки сверления отверстий в сегменте для омывания чувствительного элемента датчика изображено на Рис. 3 и применяется следующим образом.

Стержень 1 приспособления вводится в отверстие под термодатчик на сегменте до упора и фиксируется расстояние до чувствительного элемента резьбовой втулкой 8 (Рис. 4). Перемещением ползуна по направляющим планка 4 прижимается к тыльной поверхности сегмента и накернивается место для сверления. Вначале сверлится больше отверстие $\varnothing 6 \div 7$ мм с тыльной стороны сегмента на определенную глубину, оставляя $15 \div 20$ мм от рабочей поверхности сегмента, а затем отверстие $\varnothing 3 \div 4$ мм до рабочей поверхности сегмента.

Прорези в ЭМП-слое, при необходимости, должны быть расположены над чувствительным элементом датчика и проходить через отверстия в сегменте. После сверления отверстий выполняется контроль пересечения канала под установку чувствительного элемента термодатчика со сливными отверстиями.

В месте расположения сливного отверстия на тыльной стороне сегмента выполняется канал шириной 10 мм, глубиной $3 \div 5$ мм, длиной 70 мм для слива омываемого горячего масла в каналы на промежуточном основании и в масляную ванну подпятника.

Скорость масла, омывающего чувствительный элемент датчика при линейной скорости зеркала пята 10 м/с в отверстии диаметром $\varnothing 6$ мм составляет 0,14 м/с, чем обеспечивается достоверность измерения максимальной температуры масла на рабочей поверхности сегмента.

Это позволяет обеспечить практически безинерционный контроль температуры сегментов подпятника и предотвратить аварийные ситуации при работе гидроагрегата.

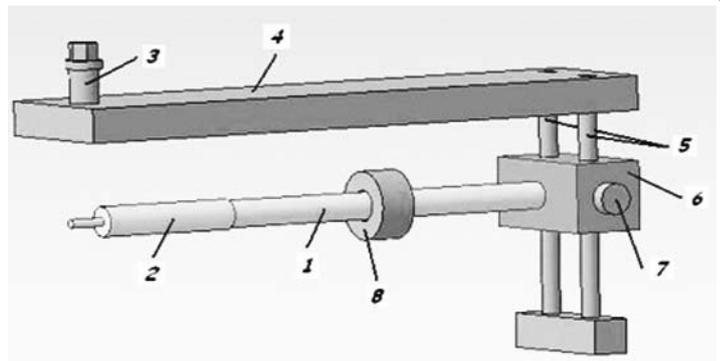


Рис. 3. 1 – стержень (аналог датчика), 2 – направляющая поверхность стержня, 3 – керн, 4 – планка, 5 – направляющие для выставления высоты, 6 – ползун с фиксатором высоты, 7, 8 – резьбовая втулка для фиксации длины датчика.

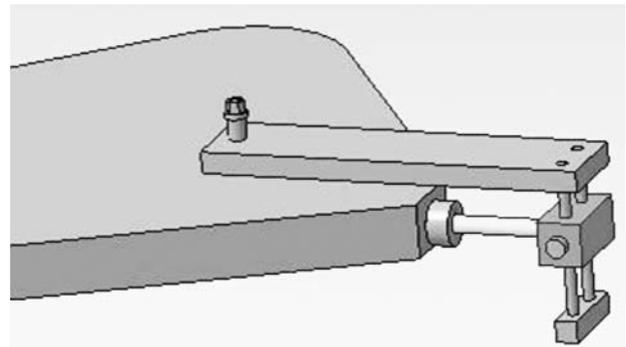


Рис. 4.

Выводы

1. Рассмотрены общие требования к проектированию и монтажу подпятников гидроагрегатов.
2. Разработан малоинерционный метод измерения максимальной температуры сегментов подпятника.
3. Обеспечивается замена, в случае необходимости, датчика температуры без демонтажа сегмента из ванны подпятника.
4. Предложена конструкция приспособления для совмещения отверстия омывающего горячего масла с отверстием под чувствительный элемент термодатчика.
5. Разработанный метод измерения максимальной температуры сегментов подпятника позволит выполнять оптимальные уставки на сигнал (выше максимально установившейся температуры) и уставку на останов гидроагрегата.

© Грубой А.П., Дьяков В.И., Кубанов В.Г., Салтовская Д.А., 2014

