



4. Монахов Е.А., Чумак В.В. Методика расчета магнитной системы торцевых синхронных магнитоэлектрических генераторов. // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського, — 2015. — № 1 (90), Ч. 1. — С. 23–26

5. Патент на винахід № 106842 — Електрична машина з постійними магнітами. Автори: Богаєнко М.В., Монахов Є.А.,

Попков В.С., Чумак В.В. Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня: 10.10.2014, Бюл. №19

6. Чумак В.В., Монахов Е.А. Исследование многополосной торцевой электрической машины для малой гидроэнергетики // Гідроенергетика України. — 2014. — № 4, — С. 35–37

© Чумак В.В., Монахов Е.А., 2015



ЛОБАНОВСКИЙ Ю.И., канд. ф-мат. наук,  
ОАО "Корпорация "Иркут"

УДК: 534-143/622.22.01

## НЕКОТОРЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ О ПРОБЛЕМАХ ТАШЛЫКСКОЙ ГАЭС



*В работе описываются проблемы, возникшие при эксплуатации Ташлыкской ГАЭС на основании данных, представленных ее сотрудниками. Показано, что наиболее вероятной причиной этих проблем является гидроакустическая неустойчивость ее напорной системы. Для получения окончательного диагноза и выработки рекомендаций по устранению проблем необходимо провести гидроакустические расчеты при точно известных основных размерах и геометрии напорных водоводов и отсасывающих труб.*

**И.** Что происходит с агрегатами Ташлыкской ГАЭС? В журнале "Гидроэнергетика Украины" вышла статья "Гидроакустическая теория и проблемы Нурекской ГЭС" [1], в которой вся история более чем сорокалетней эксплуатации одной из самых высоконапорных плотинных гидроэлектростанций мира описывается в преломлении через положения гидроакустической теории. Там, по мнению автора как той статьи, так и данной, приведены окончательные доказательства правильности использования этой теории для объяснения многих странных и ранее необъяснимых и часто катастрофических инцидентов, происходивших на гидроэлектростанциях в течение последних десятилетий. В том же номере журнала вышла еще одна статья — "Проблемные вопросы эксплуатации электротехнического оборудования и сооружений Ташлыкской ГАЭС" [2], где, насколько известно автору, впервые открыто обсуждаются серьезные проблемы, связанные с гидроагрегатами этой станции. В рассматриваемом контексте интерес представляют две первые части этой статьи — введение и "Допустимые режимы работы ГА", в которых описана грустная история создания и эксплуатации Ташлыкской ГАЭС на реке Южный Буг, входящей, вместе с буферной Алекса-

ндровской ГЭС, в состав энергетического комплекса вокруг Южно-Украинской АЭС.

Гидроаккумулирующая станция должна была обеспечить покрытие пиковых нагрузок в энергосистеме Украины при работе Южно-Украинской АЭС в базовом режиме, так как недопустимо часто, быстро и резко изменять режимы работы атомных реакторов. Для этого с 1981 года и строилась Ташлыкская ГАЭС. Нынешний ее вид показан на Рис. 1 [3].

Первый агрегат станции был пущен через 25 лет после начала ее строительства — в 2006 году, а второй — еще через год, в 2007 году [4]. Первоначально пуск третьего агрегата планировался на 2009 год [5], однако этого не произошло вплоть до настоящего времени — самого конца 2014 года

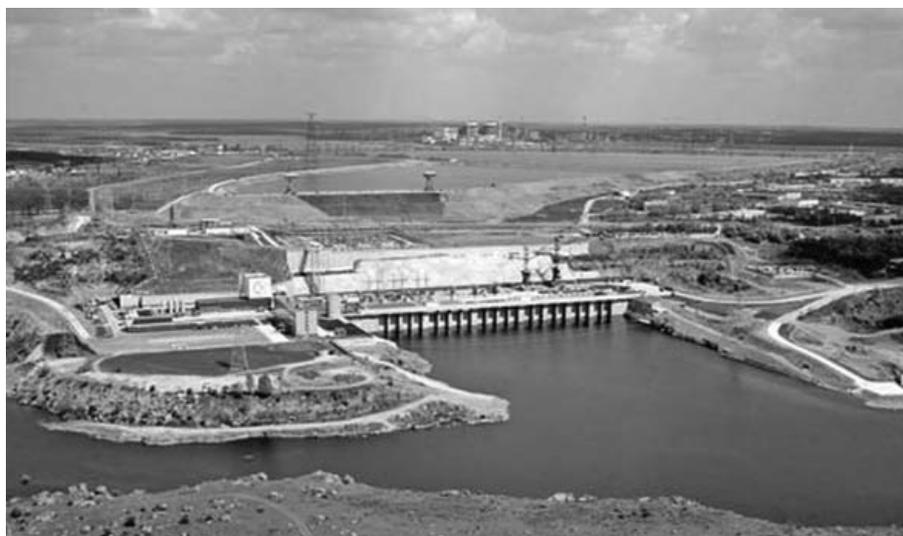


Рис. 1. Ташлыкская ГАЭС



[2]. В ходе строительства было принято решение об увеличении нормального подпорного уровня (НПУ) верхнего водоема ГАЭС на 3,5 м до отметки 103 м, так что максимальный проектный напор возрос до 88,5 м в турбинном и 89,5 м в насосном режимах. В связи с этим возникла необходимость модернизации уже изготовленных насос-турбин, рассмотренная их изготовителем – "Ленинградским Металлическим заводом" (ЛМЗ) совместно с Укргідропроектom еще в 1990 году [2].

Так как роторы насос-турбин к тому времени уже были изготовлены, был разработан метод удлинения напорных кромок их лопастей с помощью наделок, что позволило модернизировать роторы прямо на месте строительства станции. Экспериментальные исследования, проведенные на ЛМЗ, якобы показали, что "разработанная модификация обеспечивает нормальную работу насос-турбин при повышенных напорах ГАЭС без существенного изменения энергетических и кавитационных качеств" [2]. Первоначально был смонтирован и запущен первый агрегат станции с исходным ротором, а через год – второй, ротор которого прошел модернизацию. При этом, подъем воды на последние 3,5 м до отметки НПУ 103,0 м в насосном режиме обеспечивал только модернизированный второй агрегат. В турбинном режиме была возможна совместная работа обоих агрегатов с этой отметки НПУ [2].

Но, сразу же с начала эксплуатации второго агрегата, то есть с 2007 года была выявлена его очень сильная вибрация при работе в насосном режиме [2]. Было принято решение снизить величину НПУ, а значит и максимальный напор на агрегатах на 2,5 м, то есть почти вернуться к первоначальному значению максимального уровня. Тем не менее, вибрация лопаток направляющего аппарата при работе второго агрегата в насосном режиме возрастала и превысила первоначальные ее значения, замеренные после ремонта, в 2,7 раза [2]. И финал этой многолетней драмы оказался таким: "Для восстановления работоспособности агрегата в штатном режиме (то есть, надо понимать, на первоначальных пониженных напорах – примечание автора) заводом-изготовителем гидротурбины была рекомендована замена рабочего колеса на немодернизированное". Это и будет делаться сейчас с использованием направляющего аппарата еще не собранного четвертого агрегата. При этом капитальный ремонт сильно изношенных и поврежденных элементов второго агрегата возможен только в заводских условиях, и поэтому, на их замену при повторной сборке второго агрегата будут использованы детали и узлы четвертого [2].

**II. Предварительное заключение о причинах возникших проблем.** Сами авторы статьи [2] пишут о том, что при уровне воды в верхнем бассейне выше 99,5 м, то есть при напоре больше 86,0 м, работа первого агрегата с немодернизированной насос-турбиной запрещена из-за помпажа, который представляет собой автоколебания в напорном контуре гидроагрегата, что показывает заводская характеристика насосного режима работы гидроагрегата [6]. То, что на испытаниях маломасштабной модели модернизированного агрегата, проведенных на ЛМЗ, была продемонстрирована его нормальная работа, а на самой станции вдруг выяснилось, что вибрации агрегата выходят за все разумные пределы, вызывать удивления не должно. Такие вибрации возникают при выходе агрегата на границу режима возбуждения автоколебаний, а этот режим обусловлен не только характеристиками самого агрегата как такового, но также и характеристиками водоводов, подводящих к нему и отводящих от него воду, то есть напорной системы в целом [7]. Поэтому испытания модели агрегата без модели всей напорной системы, безусловно, необходимы для подтверждения многих его важнейших характеристик, однако, на вопрос: "Возможно ли возбуждение автоколебаний?" они ответить не могут в принципе. Это и было наглядно продемонстрировано всей этой историей с модернизированным гидроагрегатом Ташлыкской ГАЭС.

Следует отметить, что еще в 1987 году сообщалось, что при модельных испытаниях насос-турбины Ташлыкской ГАЭС было обнаружено явление гидроакустического резонанса именно в данной напорной системе [8], а несколько лет спустя при сравнении результатов натурных испытаний десятого гидроагрегата Саяно-Шушенской ГЭС с экспериментами на его маломасштабной модели (без моделирования напорной системы) было показано качественное различие в поведении этих объектов с гидроакустической точки зрения [9, 10]. Правда, испытания маломасштабных моделей напорных систем в целом также по существу не способны прояснить вопрос об их гидроакустической устойчивости, так как невозможно одновременно удовлетворить всем требованиям гидродинамического и гидроакустического подобию, выполнение которых необходимо для правильного сопоставления результатов от объектов разных масштабов. И ответ на эти вопросы должна давать теория и натурные эксперименты. Несколько курьезным подтверждением этого тезиса является то, что на уже упомянутых модельных испытаниях насос-турбины Ташлыкской ГАЭС "явление гидроакустического резонанса"



было обнаружено на частоте, практически кратной утроенной частоте возбуждения [10], а при предварительных оценочных расчетах полномасштабной напорной системы этой станции оказалось, что возбуждение автоколебаний, по-видимому, возникает при резонансе, то есть при кратности 1.

Следует также отметить, что проблемы, с которыми встретились на Ташлыкской ГАЭС присутствовали по крайней мере, на двух восточноевропейских гидроаккумулирующих станциях — Далечице и Жарновец еще в конце семидесятых — начале восьмидесятых годов XX века. Также как и на Ташлыкской ГАЭС, очень сильные вибрации агрегатов росли с увеличением напора. Но, в первом десятилетии нового века проблемы там были решены, полностью на ГАЭС Далечице и частично на ГАЭС Жарновец, путем замены гидроагрегатов на новые. В Далечице автоколебания начинали возбуждаться только в одной напорной системе, так как длины водоводов там различны. Новый гидроагрегат на этой станции имел другую, немного бо`льшую частоту вращения, а, значит, и частоту возбуждающего возмущения, и этого оказалось вполне достаточно, чтобы уйти от гидроакустического резонанса и привести вибрации агрегата к норме на всех режимах работы. На ГАЭС Жарновец частота вращения новых агрегатов осталась прежней, но увеличение их эффективности немного сместило собственные частоты напорного контура, что благоприятно сказалось на гидроакустических характеристиках [7, 12]. Очевидно гидроэнергетикам Украины следовало бы ознакомиться со всей этой информацией и организовать более системный подход к явлениям, возникающим в напорных системах ГЭС и ГАЭС.

#### Выводы.

1. Для решения проблем Ташлыкской ГАЭС необходимо в первую очередь провести исследования ее гидроакустической устойчивости, чтобы подтвердить или опровергнуть предварительные оценки. Для этого нужно иметь точные данные о характеристиках ее напорной системы, то есть о

геометрии и основных размерах напорных водоводов и отсасывающих труб.

2. Рекомендации о том, какие меры следует принять для устранения проблем, могут быть выработаны только после завершения действий, указанных в п. 1 выводов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Лобановский Ю.И. Гидроакустическая теория и проблемы Нурекской ГЭС. / Гидроэнергетика Украины. — 2014. — № 4. — С. 22–34.
2. Гирский А.В., Агамалов О.Н. Проблемные вопросы эксплуатации электротехнического оборудования и сооружений Ташлыкской ГАЭС. / Гидроэнергетика Украины. — 2014. — № 4. — С. 13–21.
3. Ташлыкская ГАЭС. Южно-Украинская АЭС. / Официальный сайт Южно-Украинского энергокомплекса. // [http://www.sunpp.mk.ua/ru/energocomplex/tashlyk\\_storage\\_plant](http://www.sunpp.mk.ua/ru/energocomplex/tashlyk_storage_plant)
4. Ташлыкская ГАЭС. Википедия. // [https://ru.wikipedia.org/wiki/Ташлыкская\\_ГАЭС](https://ru.wikipedia.org/wiki/Ташлыкская_ГАЭС)
5. *Электрэнергетика* за рубежом. / Ежегодник. — 2008. — Тома XIX–XX // [http://polpred.com/free//otr\\_21/book.pdf](http://polpred.com/free//otr_21/book.pdf)
6. Казакевич В.В. Автоколебания (помпаж) в компрессорах. / Москва. — Машиностроение. — 1974.
7. Лобановский Ю.И. Автоколебания напорных систем гидроэлектростанций и Саянская катастрофа. / Гидроэнергетика Украины. — 2013. — № 3–4. — С. 3–11.
8. Kurzin V.B., Okulov V.L., Pylev I.M., Matyushicheva E.A. Hydroacoustic Resonance in Water Passages of Hydraulic Machines. / Proc. IAHR Sess., Lille, France, 1987.
9. Окулов В.Л., Пылев И.М. Неустойчивость напорных систем. / Доклады Академии наук, Энергетика. — 1995. — Том 341. — № 4.
10. Арм В.Х., Окулов В.Л., Пылев И.М. Неустойчивость напорных систем гидроэнергоблоков. / Изв. ак. Наук, Энергетика. — 1996. — № 3.
11. Лобановский Ю.И. Гидроакустический бустинг — способ возбуждения катастрофических автоколебаний в напорной системе Саяно-Шушенской ГЭС. / Synerjetics Group. — Май 2010. // <http://synerjetics.ru/article/busting.htm>
12. Лобановский Ю.И. Гидроакустическая устойчивость гидроаккумулирующих станций. / Synerjetics Group. — Январь 2010. // <http://synerjetics.ru/article/stability.htm>

