

Одним из основных факторов, влияющих на точность регулирования гидротурбины, является перепад давления (напора) на входе в спиральную камеру.

В работе проведен анализ колебаний напора в статическом режиме и режиме изменения нагрузки; определены пути снижения и учета колебаний напора в системе автоматизированного регулирования гидротурбины

Ключевые слова: система автоматического управления, гидравлическая турбина, пульсации давления, колебания напора

Одним з основних факторів, що впливають на точність регулювання гідротурбіни, є перепад тиску (напору) на вході в спіральну камеру.

У роботі проведено аналіз коливань напору в статичному режимі і режимі зміни навантаження; визначено шляхи зниження й обліку коливань напору в системі автоматизованого регулювання гідротурбіни

Ключові слова: система автоматичного управління, гідравлічна турбіна, пульсації тиску, коливання напору

ВЛИЯНИЕ КОЛЕБАНИЙ НАПОРА НА ТОЧНОСТЬ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОТУРБИН

Г. И. Канюк

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой
Кафедра теплоэнергетики и энергосбережения**

А. Ю. Мезеря

Кандидат технических наук, доцент*

E-mail: mezzzer@mail.ru

Д. В. Ириков

Заместитель начальника

Отдел прочности, регулирования, автоматики
и натуральных испытаний

ООО «Харьковтурбоинжиниринг»

ул. Академика Филиппова, г. Харьков, Украина, 61046

E-mail: irikoff@yandex.ru

В. Е. Мельников

Аспирант*

E-mail: bologo@list.ru

*Кафедра теплоэнергетики и энергосбережения**

**Украинская инженерно-педагогическая академия
ул. Университетская, 16, г. Харьков, Украина, 61003

1. Введение

В последние годы в мировом гидротурбостроении наблюдается рост требований к точности и надежности систем автоматического управления гидроагрегатами [1–5].

Современные системы управления гидротурбины – это сложные динамические системы, включающие механические, гидравлические, электрические и электрические элементы [6].

Гидроагрегаты ГЭС являются многорежимными машинами, в которых происходят нелинейные динамические процессы. Существующие системы автоматического управления гидроагрегатами ГЭС выполнены на основе линейных моделей элементов гидроагрегата и оснащены ПИД-регуляторами с постоянными параметрами. Поэтому системы автоматического управления гидроагрегатами не обеспечивают максимальные к.п.д. и надёжность их работы.

2. Анализ исследований и публикаций

ПИД-регулятор относится к наиболее распространенному типу регуляторов. Около 90...95 % регуля-

торов, находящихся в настоящее время в эксплуатации, используют ПИД алгоритм [7, 8]. Достоинствами ПИД-регуляторов являются простота использования и настройки, прогнозируемость функционирования, пригодность для решения большинства практических задач и низкая стоимость. Среди ПИД-регуляторов 64 % занимают одноконтурные регуляторы и 36 % – многоконтурные. Контроллеры с обратной связью охватывают 85 % всех приложений, контроллеры с прямой связью – 6 % и контроллеры, соединенные каскадно – 9 % [9].

После появления дешевых микропроцессоров и аналого-цифровых преобразователей в промышленных ПИД-регуляторах используется автоматическая настройка параметров, адаптивные алгоритмы, нейронные сети, генетические алгоритмы, методы нечеткой логики. Усложнились структуры регуляторов: появились регуляторы с двумя степенями свободы, с применением принципов разомкнутого управления в сочетании с обратной связью, со встроенной моделью процесса. Кроме функции регулирования в ПИД-контроллер были введены функции аварийной сигнализации, контроля разрыва контура регулирования, выхода за границы динамического диапазона и др [10].

На семинаре IFAC (International Federation of Automatic Control) в 2000 году было представлено около 90 докладов, посвящённых ПИД-регуляторам [11]. Количество патентов по этой теме, содержащихся в патентной базе данных [12] в январе 2006 года составило 364 шт.

Несмотря на большое количество публикаций, остается ряд нерешенных задач регулирования. Проблемы усложняются тем, что в современных системах управления динамика часто неизвестна, регулируемые процессы нельзя считать независимыми, измерения сильно зашумлены, нагрузка непостоянна, технологические процессы непрерывны.

3. Цель и задачи исследования

Целью исследования является изучение факторов, влияющих на точность регулирования параметров гидротурбины и определение методов, учитывающих или устраняющих эти факторы, что приведет к повышению надежности, технико-экономических показателей и стабильности работы гидротурбины.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- определить степень влияния колебаний напора в статическом режиме и режиме изменения нагрузки на точность регулирования параметров гидротурбины;
- определить методы снижения колебаний напора в реальных условиях гидроэлектростанции.

4. Анализ технических характеристик и результатов экспериментальных исследований систем автоматического регулирования гидротурбин

Пульсации давления и скорости потока, а также другие возмущающие параметры, неизбежно возникающие при её работе, не должны существенно изменять характеристики турбины и приводить к значительному увеличению нагрузки на элементы конструкции. Но в связи с наличием в гидротурбине высокочастотных резонансов, можно говорить о снижении её устойчивости и существенном влиянии на всю систему гидроагрегата в целом. При этом также могут возникать вынужденные колебания с большой амплитудой, а при наличии механизмов положительной обратной связи и автоколебания.

В основном расчёт и проектирование гидротурбин проводится для статических режимов работы, и базируются на характеристиках, получаемых при испытаниях его уменьшенной модели – копии. Такой подход позволяет описывать поведение гидроагрегата при стационарных и сравнительно медленных переходных процессах, происходящих при изменении режимов работы. Однако адекватно описывать более быстрые вибрационные процессы в проточной части и проанализировать динамическую устойчивость такой подход не в состоянии.

Наиболее яркий пример – авария на Саяно-Шушенской ГЭС, произошедшая 17 августа 2009 года. В результате аварии погибло 75 человек, оборудованию и помещению станции нанесён серьёзный ущерб. В результате проведенного расследования Ростехнадзор непосредственной причиной аварии назвал разрушение шпилек крепления крышки турбины гидроагре-

гата, вызванное дополнительными динамическими нагрузками переменного характера, которому предшествовало образование и развитие усталостных повреждений узлов крепления, что привело к срыву крышки и затоплению машинного зала станции.

На рис. 1 показаны зависимости от частоты ($f \cdot T_r$) отношения амплитуды колебаний давления перед направляющим аппаратом к суммарной амплитуде колебаний давления непосредственно за турбиной (реакция водовода плюс возмущение) ($A_{на}/A_{от}$) при расположенном в отсасывающей трубе генерирующем колебания давления источнике [13].

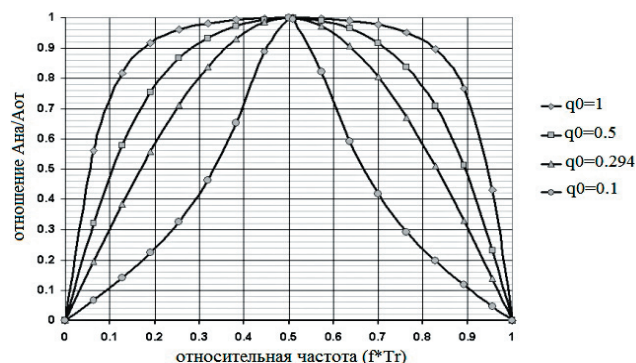


Рис. 1. Отношение амплитуды пульсации давления перед турбиной к амплитуде пульсаций давления на выходе из турбины при приложенном к выходу из турбины возмущению давления

Из рис. 1 видно, что если пульсация давления возникает в отсасывающей трубе, то амплитуда пульсации давления перед направляющим аппаратом будет меньше, чем амплитуда пульсации на выходе потока из турбины. Следовательно, если в эксперименте зафиксировано, что пульсация давления перед направляющим аппаратом (в спиральной камере) меньше, чем в отсасывающей трубе, то возмущение является возмущением по давлению и источник его расположен в отсасывающей трубе. Но при изменении положения направляющего аппарата (рис. 2), отклонение давления перед турбиной намного больше, чем отклонения его же на входе в отсасывающую трубу.

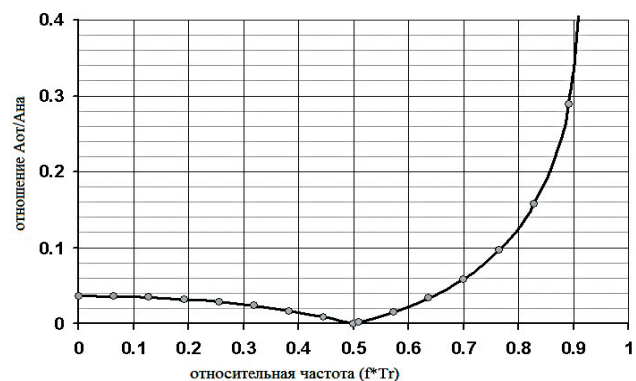


Рис. 2. Отношение амплитуды пульсации давления на выходе из турбины к пульсациям давления на ее входе при возмущении, изменяющем пропускную способность турбины (отклонение частоты вращения или движение регулирующего органа)

При увеличении мощности картина меняется, и пульсации на входе в турбину становятся намного больше, чем в отсасывающей трубе. Следовательно, причиной появления этих пульсаций являются изменения расхода [14]. При испытаниях ООО «ХАРЬКОВ-ТУРБОИНЖИНИРИНГ» (Украина) гидротурбины ст. №1 ГЭС Байтун (Панама) при мощности турбины 43 МВт были обнаружены низкочастотные колебания напора, связанные с колебаниями давления на входе в спиральную камеру. Причинами таких явлений могут быть: изменения скорости потока, возникшие в результате несовершенства геометрии подводящих водоводов (подводящего тоннеля и напорных водоводов), быстрое изменение режима работы гидроагрегата. Уравнительная башня, предусмотренная в проекте ГЭС Байтун, не выполняет своих функций.

Результаты измерений колебаний напора при испытаниях приведены на рис. 3. Как видно из графика, колебания напора достигают 7-ми метров при периоде колебаний равном 6,5 минут. Необходимо отметить, что амплитуда колебаний и их период являются разными. Такое колебание напора, действующего на работающий гидроагрегат, заставляет регулятор скорости вращения гидротурбины находиться в постоянном движении и подстраивать направляющий аппарат для поддержания постоянной мощности. Непрерывное движение регулирующих органов гидротурбины снижает рабочий ресурс гидротурбинного оборудования.

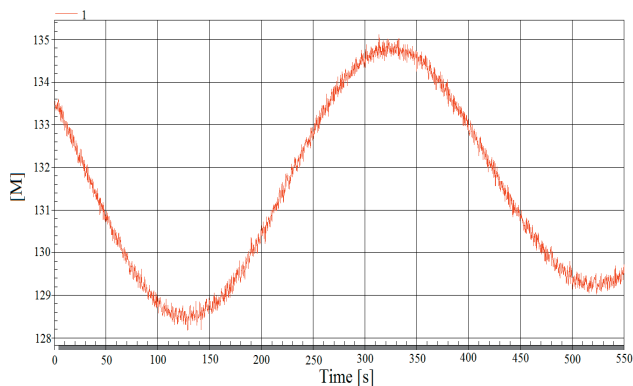


Рис. 3. Колебания напора, измеренные при проведении испытаний на агрегате ст. №1 ГЭС Байтун при мощности гидротурбины 43 МВт 23.11.2012 г.

При потере устойчивости трубопроводом динамическая зависимость движущего момента турбины от положения направляющего аппарата описывается передаточной функцией, имеющей нули и полюсы в правой полуплоскости. Таким образом, законы стабилизации частоты и управления мощностью гидравлических турбин, используемые в настоящее время для

радиально-осевых турбин с простыми водоводами, требуют пересмотра и введения в законы регулирования величины давления в трубопроводе для обеспечения устойчивости его. Практика управления такими агрегатами с короткими водоводами не подтверждает появления проблемы неустойчивости водоводов.

На агрегате ст. №1 ГЭС Байтун при мощности гидротурбины 43 МВт установлен ПИД-регулятор, который снижает амплитуду колебания напора с 5-ти до 2-х метров, но так как нагрузка турбины непостоянна, а технологические процессы непрерывны, то регулятор скорости вращения гидротурбины находится в постоянном движении, и подстраивает направляющий аппарат для поддержания постоянной мощности.

На основании результатов исследования аварии на Саяно-Шушенской ГЭС и результатов испытаний агрегата ст. №1 ГЭС Байтун, можно утверждать, что несмотря на существенное отличие в мощности радиально-осевых гидроагрегатов (Саяно-Шушенская ГЭС – 640 МВт; ГЭС Байтун – 43 МВт), вопросы пульсации напора на входе в спиральную камеру гидротурбины являются общей проблемой, которая вследствие своих факторов, негативно влияет на работу всей станции в целом.

5. Выводы

1. Проблема регулирования гидротурбины является актуальной и требует дальнейшего исследования с целью выявления основных факторов, влияющих на точность регулирования и определения точности и надежности регулирования.

2. Определено, что основным фактором определяющим точность регулирования параметров гидротурбины является колебания напора, вызванные как естественными факторами, так и самой системой регулирования.

3. Для повышения точности и качества регулирования гидротурбины необходим учет колебаний (перепадов) напора, который должен осуществляться на основе математического моделирования и структурно-параметрического синтеза эффективных регуляторов, включающих:

- астатические контуры управления электрогидравлическим механизмом САР на основе обратных задач динамики;
- эталонные модели (наблюдатели состояния), построенные на принципах фильтров Калмана-Бьюси и обеспечивающие фильтрацию случайных возмущений и помех;
- алгоритмы компенсации нелинейных статических характеристик исполнительных механизмов с переменными коэффициентами усиления главного контура регулирования.

Литература

1. Коршиков, К. А. АСУ гидроагрегатами ГЭС Балимела [Электронный ресурс] / К. А. Коршиков // «ИСУП». – 2005. – № 4 (8) – Режим доступа: <http://isup.ru/articles/5/283/>.
2. Мисюль, А. С. ПТК для Саяно-Шушенской и Майнской ГЭС [Электронный ресурс] / А. С. Мисюль // «ИСУП». – 2007. – № 3 (15). – Режим доступа: <http://isup.ru/articles/5/296/>.
3. Павлов, Н. Г. Проектирование верхних уровней автоматизированной системы управления наружным освещением [Электронный ресурс] / Н. Г. Павлов // «ИСУП». – 2014. – № 2 (50). – Режим доступа: <http://isup.ru/articles/5/5407/>.

4. Папировский, Р. В. Система управления гидроагрегатами Саяно-Шушенской ГЭС на основе Simatic PCS7 [Электронный ресурс] / Р. В. Папировский // «ИСУП». – 2012. – № 3 (39). – Режим доступа: <http://isup.ru/articles/5/2998/>.
5. Плетнёв, В. В. АСУ гидроагрегатов Загорской ГАЭС: особенности внедрения, эксплуатации и развития [Электронный ресурс] / В. В. Плетнёв // «ИСУП». – 2012. – № 2 (38). – Режим доступа: <http://isup.ru/articles/5/2515/>.
6. Ang, K. H. PID control system analysis, design, and technology [Text] / K. H. Ang, G. Chong, Y. Li // IEEE Trans. on Control Syst. Tech. – 2005. – Vol. 13, № 4. – P. 559–576.
7. Astrom, K. J. Advanced PID control [Text] / K. J. Astrom, T. Hagglund. – ISA. The Instrumentation, System, and Automation Society, 2006. – 460 p.
8. Li, Y. Patents, Software, and Hardware for PID control [Text] / Y. Li, K. H. Ang, G. C. Y. Chong // An overview and analysis of the current art. IEEE Control Systems Magazine. – 2006. – P. 41–54.
9. Денисенко, В. В. ПИД-регуляторы: принципы построения и модификации [Текст] / В. В. Денисенко // Журнал «СТА». – 2006. – № 4. – С. 66–74.
10. Денисенко, В. В. Разновидности ПИД-регуляторов [Текст] / В. В. Денисенко // Автоматизация в промышленности – 2007. – № 6. – С. 45–50.
11. Тарасов, В. Н. Проблемы динамической устойчивости гидроагрегата [Текст] : семинар ЦАГИ / В. Н. Тарасов // ООО «ДИА-МEX 2000», 2009.
12. European Patent Office (EPO) [Electronic resource] / Available at: <http://gb.espacenet.com>.
13. Башнин, О. И. О гидроакустическом резонансе и причинах пульсации давления в водоводах Саяно-Шушенской ГЭС [Текст] / О. И. Башнин // Журнал «Гидротехника XXI века». – 2012. – 4 (11).
14. Zwart, P. J. Two-Phase Flow Model for Predicting Cavitation Dynamics [Text]: intern. conf. / P. J. Zwart, A. G. Gerber, T. A. Belamri // Multiphase Flow Yokohama. – Japan, 2004. – Paper. № 152.

У роботі пропонується рішення задачі підвищення ефективності технологічного процесу дроблення руди шляхом розробки двохуровневої системи автоматизованого керування конусної дробарки з контуром пошукового екстремального управління за техніко-економічним критерієм. Проведено обчислювальні експерименти, які продемонстрували, що залежність критерію носить унімодальний характер в області зміни керувань. Впровадження розробленої системи у виробництво дозволить підвищити економічну ефективність на 4,4 %.

Ключові слова: конусна дробарка, критерій оптимізації, пошукове екстремальне керування, ієрархічна система, моделювання

В работе предлагается решение задачи повышения эффективности технологического процесса дробления руды путем разработки двухуровневой системы автоматизированного управления конусной дробилкой с контуром поискового экстремального управления по технико-экономическому критерию. Проведены вычислительные эксперименты, которые продемонстрировали, что зависимость критерия носит унимодальный характер в области изменения управлений. Внедрение разработанной системы в производство позволит повысить экономическую эффективность на 4,4 %

Ключевые слова: конусная дробилка, критерий оптимизации, поисковое экстремальное управление, иерархическая система, моделирование

УДК 621.926.2:681.5.017:681.5.032

ДВУХУРОВНЕВАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИ- ЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ КОНУСНОЙ ДРОБИЛКОЙ

А. Ю. Михайленко

Ассистент
Кафедра электроснабжения и
энергетического менеджмента
«Криворожский
национальный университет»
ул. XXII Партсъезда, 11, г. Кривой Рог,
Украина, 50027
E-mail: epem.mykhailenko@gmail.com

1. Введение

Проблема рационального использования природных и энергетических ресурсов, в условиях постепен-

ного истощения запасов минерального сырья и постоянного повышения цен на топливо и электроэнергию, занимает ведущее место, как в международной, так и государственной политике отдельных стран. В обла-