УДК 681.58

ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЧАСТИ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТУРБОАГРЕГАТОВ

Ильичев В.Ю., Юрик Е.А.

Калужский филиал ФГОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», Калуга, e-mail: patrol8@yandex.ru

Статья посвящена анализу характеристик традиционных и современных, наиболее передовых, электрическо-электронных частей систем автоматического регулирования турбоагрегатов, установленных на электростанциях России. Рассмотрены принципы и схемы организации новых систем регулирования, их составные части, используемое в них оборудование и программное обеспечение. Проведённый анализ позволяет показать и доказать важность, актуальность и перспективность данного направления разработок, так как новые принципы организации систем регулирования позволяют добиться качественного повышения показателей качества переходных процессов, их быстродействия, снижения стоимости систем регулирования и в конечном итоге снижения стоимости вырабатываемой электроэнергии. Также важным следствием замены традиционных систем регулирования на новые, электро-электронные, является повышение надёжности обеспечения промышленных и бытовых потребителей электроэнергией за счёт более оптимального её перераспределения по регионам страны. Таким образом, возможно решить важную народнохозяйственную задачу, являющуюся одной из наиболее приоритетных в нашей стране. В результате проведённого анализа развития современной науки и промышленности в отрасли энергетики, электротехники и программирования, выработаны рекомендации по дальнейшему совершенствованию систем регулирования турбомашин электростанций, а также энергосистем в целом.

Ключевые слова: система автоматического регулирования, электростанция, энергосистема, микроконтроллер, турбоустановка, система управления

WAYS OF IMPROVEMENT OF THE ELECTRIC PART OF SYSTEMS OF AUTOMATIC CONTROL OF TURBINE UNITS

Ilichev V.Yu., Yurik E.A.

Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University, Kaluga, e-mail: patrol8@yandex.ru

Article is devoted to the analysis of characteristics of traditional and modern, most advanced, elektro-electronic parts of the systems of automatic control of turbine units installed at power plants of Russia. The principles and schemes of the organization of new systems of regulation, their components, the equipment used in them and the software are considered. The carried-out analysis allows to show and prove importance, relevance and prospects of this direction of developments as the new principles of the organization of systems of regulation allow to achieve high-quality increase in figures of merit of transition processes, their high-speed performance, depreciation of systems of regulation and finally depreciation of the developed electric power. Also important consequence of replacement of traditional systems of regulation on new, electric and electronic, is reliability augmentation of providing industrial and household consumers with the electric power due to its more optimum redistribution on regions of the country. Thus, it is possible to solve the important economic problem which is one of the most priority in our country. As a result of the carried-out analysis of development of modern science and the industry in the industry of power, electrical equipment and programming, recommendations about further improvement of systems of regulation of turbomachines of power plants and also power supply systems in general are developed.

Keywords: system of automatic control, power plant, power supply system, microcontroller, turbine plant, control system

Постановлением Правительства Российской Федерации от 11 июля 2001 г. № 526 «О реформировании электроэнергетики Российской Федерации» (с изменениями от 1 февраля 2005 г.) основной задачей ставится повышение эффективности функционирования электроэнергетики, обеспечения бесперебойного снабжения отраслей экономики и населения электрической и тепловой энергией. Предпосылки и современное состояние этой проблемы подробно рассмотрены в книге [1]. Одно из направлений на пути решения данной задачи рассмотрено в данной статье.

Классические системы автоматического регулирования (САР) турбоагрегатов выполнялись с механическими или механико-гидравлическими датчиками. Такие системы имели ряд недостатков: погрешности в регулировании, особенно при износе шарнирных соединений, сложность получения заданного закона регулирования и настройки, дороговизна ремонта, большие габариты.

Современный уровень развития управляющих устройств позволяет уменьшить число механических связей в системах регулирования турбин и применять электрические и электронные системы преобразования сигналов. При этом можно осуществить практически любой закон регулирования при очень высокой чувствительности дат-

чиков, контролировать любые параметры работы турбоустановки при малых габаритах и несложном монтаже системы измерения и преобразования.

Цель исследования: рассмотрение особенностей современных электро-электронных систем автоматического регулирования турбоагрегатов электростанций с целью выработки рекомендаций для их совершенствования.

Материалы и методы исследования

Опираясь на данные о работе существующих в настоящее время наиболее передовых систем автоматического регулирования турбин, произведём сравнение их важнейших характеристик. Также рассмотрим особенности организации современных систем регулирования и покажем резервы для дальнейшего улучшения их параметров.

В современных системах регулирования турбоагрегатов управляющие воздействия на регулирующие органы турбоустановки, как и прежде, создаются гидравлическими или пневматическими устройствами, так как электромагнитный привод клапана не может создать усилий, достаточных для перемещения клапанов турбин с высокой скоростью. Часто устройство регулирования и управления представляет из себя единый блок: электрогидравлический или электропневматический.

Кроме известных зарубежных фирм, занимающихся проектированием и изготовлением электрогидравлических систем регулирования (например, немецкая фирма Voith Turbo), такие фирмы появились в последнее время и в России.

Приведём несколько примеров замены старых систем регулирования на новые, электрогидравлические.

К 2005 г. компания «Институт Радиоэлектронных Систем» (Екатеринбург) разработала электрическую часть системы автоматического регулирования (ЭЧСАР) для замены гидравлической системы регулирования паровой турбины Т-100/120-130 турбогенератора № 6 Курганской ТЭЦ [2].

Произведём сравнение характеристик систем регулирования старого и нового типа (таблица). Как видно из таблицы, качество работы новой системы регулирования намного выше. В частности, существенно увеличилось быстродействие, точность измерения параметров датчиками и точность регулирования частоты вращения ротора, мощности турбоустановки и температуры на входе в турбину.

В состав ЭЧСАР входят два шкафа управления, с размещёнными в них бесперебойными блоками питания, микропроцессорами, а также пульт управления (ПУ) с использованием компьютера. На базе микропроцессорной техники создано следующее оборудование: основной контроллер, осуществляющий заданные законы регулирования параметров турбины, платы сбора технологической информации с датчиков температуры, давления, частоты вращения ротора и др., электронные платы, осуществляющие управление исполнительными органами турбоустановки, автоматические устройства, переключающие сигналы управления сервомотором (гидравлическим двигателем) низкого давления из автоматического режима в ручной режим управления оператором; автоматическое устройство остановки турбины при превышении максимальной частоты вращения ротора (так называемый, автомат безопасности); усилители электросигналов. Система использует шесть датчиков частоты вращения ротора, что обеспечивает высокий уровень резервирования с целью повышения надёжности срабатывания и увеличения точности измерения.

Микроконтроллерная система управления всеми установками электростанции, в том числе и турбины, происходит дистанционно с помощью организации разветвлённой сети передачи данных с высокой пропускной способностью на базе современного программного обеспечения.

Сравнение электрогидравлической и гидромеханической САР

Параметр	Электрогидравлическая САР	Гидромеханическая САР
Время срабатывания автомата безопасности, не более, мс	800	1200
Время измерения частоты, мс	0,7	30
Точность измерения частоты, об/мин.	±0,1	±15
Точность регулятора частоты вращения, об/мин.	±1	±10
Точность регулятора мощности, МВт	±0,2	±2
Точность регулятора температуры, °С	±1	отсутствует
Точность регулятора температуры с качественным сервомотором НД, °С	±0,5	отсутствует

Ещё одним примером исполнения программы правительства по развитию энергетической отрасли явилась произведённая в ОАО «Генерирующая компания» к 2005 г. реконструкция систем автоматического регулирования турбин с внедрением на электростанциях электрогидравлической системы автоматического регулирования (ЭГСР), созданной, так же как и в «Институте Радиоэлектронных Систем», на основе современной микропроцессорной техники [3]. Предпосылкой и движущей силой данной реконструкции явилась возрастающая потребность российского энергетического рынка в тщательном выдерживании графика электрических нагрузок, что диктуется ужесточением требований к надёжности работы энергетической системы и обеспечения промышленных и бытовых потребителей электроэнергией.

В ходе реконструкции были достигнуты следующие результаты, которые возможно было получить лишь при внедрении электро-электронных систем управления и регулирования турбоагрегатов:

1) повышение экономичности процесса получения энергии на электростанциях;

2) улучшение технических и эксплуатационных характеристик систем регулирования, турбоагрегатов, электростанций и энергосистем;

3) значительное увеличение срока службы систем автоматического регулирования турбин и повышение их надёжности.

Для реконструкции систем автоматического регулирования турбин, блок регулирования приходилось извлекать из блоков передних подшипников. После этого монтировались системы, характерные для нового класса системы регулирования: механизмы приведения систем защиты в рабочее положение, электродатчики частоты вращения, датчики и сигнализаторы давлений и температур, установленные в проточной части турбин и в патрубках, электрогидравлические преобразователи сервомоторов частей высокого и низкого давления.

Каждый из сервомоторов системы регулирования стал управляться отдельным электрогидравлическим преобразователем; устройства гидравлической обратной связи, которые были установлены вблизи сервомоторов, были заменены электронными датчиками положения штоков сервомоторов.

Благодаря применению новой системы регулирования удалось исключить сложные и потому ненадёжные гидравлические узлы: блок суммирующих золотников, ограничитель мощности турбины, золотники, их буксы и траверсы обратной связи сервомоторов привода регулирующих клапанов и поворотных диафрагм. Теперь функции исключённых систем выполняет единая электронная часть САР, в которой программным путём заданы сложные законы автономного связанного регулирования частоты вращения, давления, температуры и мощности. В той же электронной системе реализованы функции защитных устройств. Надёжность электронной системы удалось существенно повысить по сравнению с традиционными гидравлическими, с помощью включения в схему значительного количества резервных элементов, реализации программной самодиагностики и возможности наглядных средств наблюдения за работой системы регулирования по мнемосхемам. Управление турбиной производится с автоматизированного рабочего места (АРМ), где реализована программа верхнего уровня системы со сбором информации и функциями управления. Теперь операторы турбоустановки могут видеть показания всех датчиков в реальном времени на экранах компьютеров, а также имеют возможность извлекать информацию из системы за любой период работы турбоагрегата.

В результате коренной модернизации также существенно упростилась конструкция оставшейся пока механогидравлической части системы регулирования.

Проведенные испытания новой системы регулирования на различных режимах: на холостом ходе, под нагрузкой, а также испытания при моментальном сбросе нагрузки показали замечательные результаты:

1. Нечувствительность регулирования числа оборотов ротора на всех режимах работы турбоустановки не превышает 0,1% (что на порядок ниже, чем в традиционных системах регулирования).

2. Степень неравномерности регулирования скорости 4,5% (как правило, это близкое к оптимальному значение для большинства энергоагрегатов).

3. Поддержание оборотов на холостом ходу с точностью ± 1 об/мин, чего было практически невозможно добиться традиционными средствами.

Ещё одна российская компания, «Комтек-Энергосервис», также занимается работами по реконструкции систем автоматического регулирования паровых турбин с заменой чисто гидравлической системы (ГСАП) на электрогидравлическую (ЭГСАР) [4]. При реконструкции используются серийные промышленные контроллеры, применяемые и в других отраслях промышленности, полностью соответствующих не только нормативам, принятым в России, но также и международным стандартам.

Обычно переоборудование турбин электростанций осуществляется в несколько этапов:

1. Механогидравлическая система защиты ротора турбины от разгона заменяется на электромеханическую систему защиты. При этом вместо гидравлического устанавливается электронный автомат безопасности, в соответствии с этим полностью переоборудуются линии защиты, управляющие стопорными и другими защитными клапанами.

2. Все гидравлические регуляторы заменяются электрическими, устанавливаются электронные блоки защиты, электрогидравлические преобразователи для управления золотниками и сервомоторами регулирующих клапанов в частях высокого давления турбин и поворотными диафрагмами в частях среднего и низкого давления.

3. Вблизи от турбоустановки устанавливаются шкафы управления, в которых расположены платы с микроконтроллерами, на щите управления располагается рабочая станция или выносная панель управления для оператора.

4. Необходимой составной частью электронной системы регулирования и управления является сервер архивирования информации.

5. Во всех необходимых точках в проточной части турбины, в патрубках, на корпусах и на других элементах турбомашины устанавливаются датчики технологических параметров (давления, температуры, числа оборотов, расхода и др.).

Компания «Комтек-Энергосервис» получила следующие результаты после модернизации существующих систем регулирования: существенное повышение точности регулирования (удалось добиться максимальной степени нечувствительности по частоте вращения не более 0,02 %), расширение функциональных возможностей управления турбоагрегатом, уменьшение затрат времени и труда на обслуживание и ремонт САР и обеспечение возможности участия энергоблока в первичном регулировании частоты и мощности в энергосистеме с качеством, соответствующим требованиям UCTE и РАО «ЕЭС России».

К настоящему времени компания «Комтек-Энергосервис» выполнила работы по реконструкции систем регулирования и защиты турбин ВПТ-25 (Иркутская ТЭЦ-11, г. Усолье-Сибирское, РФ) с заменой стопорных и регулирующих клапанов, АКВ-18 (Металлургический комбинат «Mittal Steel» г. Зеница, Босния и Герцеговина), двух турбин ПЦПЛ-700 и двух турбин ПЦПЛ-1000 (ОАО «Невинномысский Азот», г. Невинномысск, РФ), К-15-41-1 (ОАО «Минудобрения», г. Россошь, РФ), К-200-130 (Молдавская ГРЭС, г. Днестровск, Приднестровье). Кроме того, все паровые турбины, выпускаемые «Комтек-Энергосервис», теперь снабжаются исключительно электрогидравлическими системами автоматического регулирования.

Результаты исследования и их обсуждение

В результате анализа данных по разработанным и установленным на электростанциях в последнее время системам регулирования турбоагрегатов с электроэлектронной управляющей частью, наглядно показано преимущество принципиально новых схем и устройств.

Несомненно, прогресс в этой отрасли связан в первую очередь с развитием электроники и, в частности, микропроцессорной техники, а также с повышением точности при проектировании и изготовлении силовых устройств. В данном случае на помощь разработчикам приходят комплексы трёхмерного моделирования и оптимального проектирования систем управления.

Спроектированные с использованием последних разработок в области электротехники и применённые на практике электрические системы автоматического регулирования турбоустановок предоставляют несомненные преимущества для заказчиков электротехнического оборудования.

Вместе с тем, для дальнейшего прогресса в данной отрасли, авторы предполагают рассмотреть следующие дополнительные вопросы:

1) исследование возможности использования элементов искусственного интеллекта, в частности, нейросетевых алгоритмов для более рационального перераспределения мощности между электростанциями и отдельными турбоагрегатами в пределах энергосистемы, с целью снижения расходов на выработку и транспортировку электроэнергии потребителям;

2) дальнейшее повышение скорости обработки информации на серверах систем регулирования электростанций, что связано с применением более совершенной компьютерной техники;

3) совершенствование устройств, формирующих силовое управляющее воздействие на исполнительные органы турбоустановки. Для их привода также рекомендуется использовать электрические приводы, избавляясь от использования традиционных электродвигателей. За основу такого устройства может быть взят, например, электромагнитный привод газораспре-

делительного клапана поршневого двигателя [5, 6]. Электромагнитные приводы клапанов в настоящее время также активно разрабатываются в Европе и в США;

4) замена универсального программного обеспечения для создания программ управления микроконтроллерами на строго специальное, разработанное конкретно для систем автоматического регулирования и защиты, с использованием опыта эксплуатации именно этих систем. Это программное обеспечение должно объединять программы-архиваторы данных, средства создания программ для микроконтроллеров, скоростной передачи и обработки информации.

Заключение

Таким образом, цель данной работы была выполнена – произведён анализ наиболее современных и даже, возможно, революционных принципов организации систем автоматического регулирования на электростанциях. Выработан ряд рекомендаций по дальнейшему совершенствованию электрических и электронных систем регулирования.

Список литературы

1. Ушаков В.Я. Электрические системы и сети: учеб. пособие для СПО. М.: Издательство Юрайт, 2018. 446 с.

2. Электрическая часть системы регулирования паровой турбины [Электронный ресурс]. URL: https:// shop.irsural.ru/elec/energo/echsar (дата обращения: 04.12.2018).

3. Электрогидравлическая система регулирования турбин (ЭГСР) [Электронный ресурс]. URL: http://www.tatgencom.ru/images/gencom/expo-2011/download/automation_03.pdf (дата обращения: 14.11.2018).

4. Реконструкция систем автоматического регулирования турбин с переводом на электрогидравлическую [Электронный ресурс]. URL: http://www.comtec-energoservice.ru/products/rekonstrukcii-parovih-turbin/rekonstrukciya-sistem-avtomaticheskogo-regulirovaniya-turbin-s-perevodom-na-elektrogidravlicheskuyu (дата обращения: 04.12.2018).

5. Соснин Д.А., Митин М.В. Электромагнитный привод газораспределительного клапана поршневого двигателя // Патент РФ № 2350762. Патентообладатель «Московский автомобильно-дорожный институт (государственный технический университет)». Заявка: 2007116324/06, 02.05.2007. Дата начала отсчёта срока действия патента: 02.05.2007. Дата публикации заявки: 10.11.2008. Опубликовано: 27.03.2009 [Электронный ресурс]. URL: http://www.freepatent.ru/images/patents/115/2350762/patent-2350762.pdf (дата обращения: 04.12.2018).

6. Соснин Д.А., Митин М.В. Электронный привод акселератора современного автомобиля. М.: НТЖ «Ремонт и сервис электронной техники». 2008. № 12 [Электронный ресурс]. URL: http://www.remserv.ru/cgi/magazine/issue/123/auto/2420 (дата обращения: 04.12.2018).