

Канюк Геннадій Іванович, д.т.н., зав. кафедрою теплоенергетики та енергозберігаючих технологій
Мезеря Андрій Юрійович, к.т.н., доцент кафедри теплоенергетики та енергозберігаючих технологій
Мельников Вячеслав Євгенович, асистент кафедри теплоенергетики та енергозберігаючих технологій
 Українська інженерно-педагогічна академія, г. Харків, Україна. Ул. Университетська 16

НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ И НОРМАТИВНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭНЕРГОЭФЕКТИВНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ГИДРОГЕНЕРАТОРНЫХ УСТАНОВОК

В статье показаны преимущества комбинированного способа выработки электрической и тепловой энергии, которые не реализуются в настоящее время полностью из-за несогласованности энергетической и экономической сторон комбинированного производства. Принципиальные трудности, связанные с разделением затрат топлива между производимыми видами продукции, без чего невозможно определить их себестоимость. Показано, что распределение расходов, понесенных на топливо, и распределение расхода топлива фактически это одна и та же проблема. Незнание реальной себестоимости не позволяет обоснованно формировать тарифы на продукцию, что приводит к снижению конкурентоспособности комбинированных производств и не способствует их технического совершенствования. Обосновано, что проблемы, которые имеют место при комбинированном использовании тепловой энергии, обусловленные несовершенством теоретических основ экономики теплоэнергетики. В частности, это относится к установлению стоимости тепловой энергии после частичной реализации ее в форме работы. Применяются в теплоэнергетике предпосылки для установления стоимости джоулей тепловой энергии, неоднозначные и не обоснованные. Они исходят из положений термодинамики и не связанные с экономикой производства. Основываются на таких предпосылках методы разделения расходов топлива (физический, эксергетический, нормативный и др) не могут быть использованы при установлении себестоимости энергетической продукции, вырабатываемой комбинированным способом. Предложен экономический подход к делению затрат на топливо и научно обоснован метод разделения расходов, понесенных на топливо, который может быть использован при расчетах себестоимости электрической и тепловой энергии, вырабатываемой комбинированным способом. Рассмотрены вопросы, связанные с обеспечением требуемого качества электрической энергии, производимой на гидроэлектростанциях, повышением точности регулирования частоты и мощности гидроагрегатов. Выполнен параметрический синтез астатического регулятора системы автоматического регулирования частоты вращения гидротурбины на основе решения обратной задачи динамики. Проведен анализ существующего нормативно-методического обеспечения систем автоматического регулирования гидроагрегатов.

Ключевые слова: гидрогенератор; система автоматического регулирования; нормативное обеспечение.

Канюк Геннадій Іванович д.т.н., зав. кафедри теплоенергетики та енергозберігаючих технологій
Мезеря Андрій Юрійович, д.т.н., доцент кафедри теплоенергетики та енергозберігаючих технологій
Мельников В'ячеслав Євгенович, асистент кафедри теплоенергетики та енергозберігаючих технологій
 Українська інженерно-педагогічна академія, м. Харків, Україна. Вул. Университетська 16, м. Харків, Україна,

НАУКОВЕ ОБГРУНТУВАННЯ ТА НОРМАТИВНЕ ЗАБАЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ГІДРОГЕНЕРАТОРНИХ УСТАНОВОК

У статті показано переваги комбінованого способу вироблення електричної і теплової енергії, які не реалізуються в даний час повністю із-за неузгодженості енергетичної та економічної сторін комбінованого виробництва. Принципові труднощі пов'язані з поділом витрат палива між виробленими видами продукції, без чого неможливо визначити їх собівартість. Показано, що розподіл витрат, понесених на паливо, і поділ витрати палива фактично це одна і та ж проблема. Незнання собівартості не дозволяє обґрунтовано формувати тарифи на продукцію, що призводить до зниження конкурентоспроможності комбінованих виробництв і не сприяє їх технічного вдосконалення. Обґрунтовано, що проблеми, які мають місце при комбінованому використанні теплової енергії, зумовлені недосконалістю теоретичних основ економіки теплоенергетики. Зокрема, це відноситься до встановлення вартості теплової енергії після часткової реалізації її у формі роботи. Застосовуються в теплоенергетиці передумови для встановлення вартості джоулів теплової енергії, неоднозначні і не обґрунтовані. Вони виходять з положень термодинаміки і не пов'язані з економікою виробництва. Ґрунтуються на таких передумовах методи поділу витрат палива (фізичний, ексергетичний, нормативний та ін) не можуть бути використані при встановленні собівартості енергетичної продукції, що виробляється комбінованим способом. Запропоновано економічний підхід до

поділу витрат на паливо та науково обґрунтований метод поділу витрат, понесених на паливо, який може бути використаний при розрахунках собівартості електричної і теплової енергії, що виробляється комбінованим способом. Питання, пов'язані із забезпеченням якості електричної енергії, що виробляється на гідроелектростанціях, підвищенням точності регулювання частоти і потужності гідроагрегатів. Виконано параметричний синтез астатического регулятора системи автоматичного регулювання частоти обертання гідротурбіни на основі рішення зворотної задачі динаміки. Проведено аналіз існуючого нормативно-методичного забезпечення систем автоматичного регулювання гідроагрегатів.

Ключові слова: гідрогенератор; система автоматичного регулювання; нормативне забезпечення.

Kaniuk Gennady Ivanovich, Doctor of Technical Sciences, Head of Department of Heat-and-Power Engineering and Energy Saving Technologies

Mezerya Andrey Yuriyovich, Candidate of Engineering, Associate Professor of Heat-and-Power Engineering and Energy Saving Technologies

Melnikov Vyacheslav Yevgenovich, Assistant of Department of Heat-and-Power Engineering and Energy Saving Technologies

Ukrainian Engineering Pedagogics Academy, Kharkov, Ukraine. Universitetskaya str. 16, Kharkov, Ukraine

SCIENTIFIC SUBSTANTIATION AND NORMATIVE SUPPORT OF SYSTEMS AUTOMATIC REGULATION HYDROGENERATING INSTALLATIONS ENERGY-EFFICIENT MODES OPERATION

The article shows the advantages of the combined method of generating electrical and thermal energy that are not implemented currently completely because of inconsistencies of energy and economic sides combined. Fundamental difficulties associated with the separation of fuel costs among manufactured products, without which it is impossible to determine their cost. It is shown that the distribution of the expenditure incurred on fuel, and the separation of the fuel consumption in fact it is one and the same problem. Ignorance of the real costs does not allow to generate reasonable rates of products which leads to lower competitiveness of the combined production and does not contribute to technical improvement. It is proved that the problems that occur in the combined use of thermal energy caused by the imperfection of the theoretical foundations of Economics of the power system. In particular, it refers to the establishment of cost of thermal energy after the partial implementation of it in the form of work. Apply in the heat of the preconditions for establishing the value of joules of heat energy, is ambiguous and not justified. It is based on the regulations of thermodynamics and are not related to the economy of production. Based on these assumptions the methods of separation of fuel (physical, energetic, regulatory, etc) can not be used when establishing the cost of energy products produced by the combined method. The proposed economic approach to the division of costs for fuel and scientifically grounded method of separation of expenditure incurred on fuel, which can be used in the calculation of cost of electrical and thermal energy generated by the combined method. The issues associated with providing the required quality of electric energy produced in hydroelectric power plants, improving the accuracy of regulation of frequency and power generating units. Performed parametric synthesis of astatic regulator of the system of automatic regulation of frequency of rotation of the turbine based on the solution of the inverse problem of dynamics. An analysis of existing normative-methodological support of automatic control systems of hydraulic units.

Keywords: hydrogenerator; automatic control system; regulatory support.

Введение

Электрическая энергия, которая производится гидроэлектростанциями, характеризуется рядом показателей качества (ПКЭ), которые жестко регламентируются отечественными и зарубежными стандартами. Отклонение фактических показателей качества от регламентированных значений приводит к дополнительным потерям электроэнергии, снижению надежности и срока службы электрооборудования, а также к снижению эффективности или даже прямого нарушения технологических процессов потребителей.

Актуальным вопросом в современной энергетике является обеспечение необходимого качества электрической энергии. Основным показателем качества электрической энергии является отклонение частоты. По отечественным стандартам максимально допустимые отклонения частоты для систем автоматического регулирования оснащенными гидравлическими и электрогидравлическими регуляторами находятся в пределах от 0,3 до 0,1%, в то время, когда по международным стандартам этот показатель не должен превышать 0,06% [1]. Отклонение частоты приводит к увеличению потерь активной мощности в сетях и росту потребления активной и реактивной мощностей, недовыпуск промышленными предприятиями продукции и увеличение дополнительного времени работы предприятия для выполнения задания. Известно, что снижение частоты на 1% увеличивает потери в

электрических сетях на 2%. Возникает вопрос поддержания частоты на необходимом уровне. За недопустимое отклонение частоты, запускается механизм штрафных санкций [2].

Задача поддержания частоты в ее заданных значениях связана с различными факторами, такими как конструктивные особенности оборудования и системой автоматического управления. Особенно актуально эта задача стоит для ГЭС, так как станции этого типа работают в пиковой и полупиковой части графика электрических нагрузок, что подразумевает необходимость в частых переходных режимах. В связи с тем, что в переходных режимах происходит отклонение частоты, возникает задача уменьшения длительности переходных процессов при этом необходимо обеспечить качество электроэнергии на необходимом уровне, в частности удержать отклонение частоты в рамках допустимого диапазона, а это является непосредственной задачей системы автоматического регулирования частоты и мощности (САР Ч и М) гидроагрегата. Одной из особенностей энергетики Украины является наличие существенной неравномерности графиков электрических нагрузок [3]. В качестве примера на рис. 1.1. приведен характерный график электрических нагрузок для Украины.

В энергосистеме Украины имеются значительные неравномерности не только суточных, но и годовых графиков нагрузок. Большую часть в пиковом и полупиковых режимах, которых берут на себя ГЭС и ГАЭС, обладающие высокой маневренностью и большим регулировочным диапазоном, высокими скоростями изменения нагрузок, минимальным временем набора нагрузки, пуска и остановки агрегатов. При этом выполняются следующие задачи [5]: покрываются наиболее сложные пиковые и полу пиковые части графика нагрузок. При этом ГЭС и ГАЭС при покрытии пиковой части графика нагрузки в среднем работают 2-5 часов в сутки, а полупиковой части графика 5-15 часов в сутки; при работе в насосном режиме ГАЭС заполняет провальную часть графика нагрузок, снижая его неравномерность, и обеспечивает оптимизацию структуры генерирующих мощностей в энергосистеме за счет увеличения мощности базисных ТЭС и АЭС; выполняются функции аварийного и нагрузочного резервов энергосистемы; используются в качестве источников реактивной мощности.

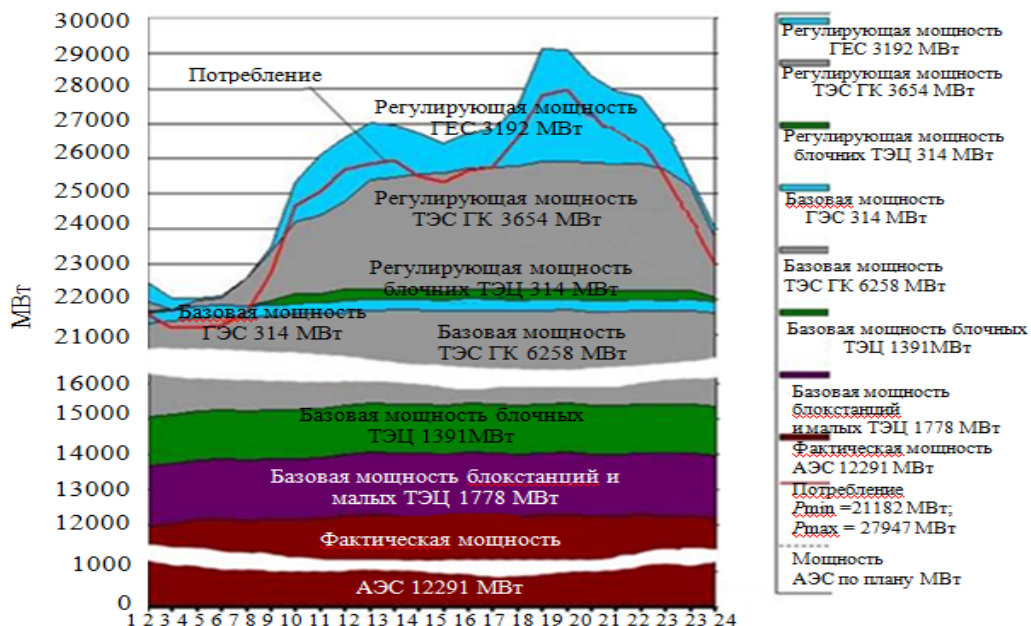


Рис. 1.1 – Суточный график нагрузок в энергосистеме Украины

Так как ГЭС и ГАЭС лучше других электростанций приспособлены к быстрому изменению режимов работы, покрытию кратковременных пиков нагрузок, повышение точности регулирования частоты гидроагрегатов представляет собой важную и актуальную научно-техническую задачу [5, 6].

Параметрический синтез астатического регулятора системы автоматического регулирования частоты вращения гидротурбины на основе решения обратной задачи динамики

Параметрический синтез прецизионного регулятора осуществляется при помощи выбора стандартных характеристических полиномов, которые соответствовали следующему принятому функционалу оптимизации:

$$I = \min \int |\varepsilon(t)| t dt. \quad (1)$$

Выбор такого функционала обеспечивает приемлемый компромисс между статической и динамической точностью, при этом учитываются технологические ограничения: ограничения управляющего напряжения на входе (электрогидравлический усилитель) и ограничения параметров электрогидравлического привода по давлениям, расходу и потребляемой мощности.

При этом накладываются технологические ограничения:

- ограничение управляющего напряжения на входе в электрогидравлический усилитель:

$$|U_y| \leq U_{\max}; \quad (2)$$

- ограничение параметров электрогидравлического привода:

$$P \leq P_{\max}; Q \leq Q_{\max}; N \leq N_{\max}. \quad (3)$$

Желаемый характеристический полином:

$$(n = 8; k = 1; N = n + k = 9); D^*(S) = S^{2N} + \sum_{i=0}^{2N-1} d_i^* S^i = 0. \quad (4)$$

Матричное соотношение для определения оптимальных значений параметров регулятора:

$$\begin{bmatrix} C_0 \\ C_1 \\ \dots \\ C_{N-1} \\ r_0 \\ r_1 \\ \dots \\ r_{N-1} \end{bmatrix}_{2N \times 1} = \begin{bmatrix} a'_0 & 0 & \dots & 0 & b_0 & 0 & \dots & 0 \\ a'_1 & a_0 & \dots & 0 & b_1 & b_0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a'_{N-1} & a'_{N-2} & \dots & a_0 & b_{m-1} & b_{m-2} & \dots & b_0 \\ a'_N & a'_{N-1} & \dots & a_1 & b_m & b_{m-1} & \dots & b_1 \\ 0 & a'_N & \dots & a_2 & 0 & b_m & \dots & b_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & a_N & 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}_{2N \times 2N}^{-1} \begin{bmatrix} a_{H0} \\ a_{H1} \\ \dots \\ a_{HN} \\ a_{HN+1} - a'_0 \\ \dots \\ \dots \\ a_{H2N-1} - a'_{N-1} \end{bmatrix} \quad (5)$$

Для практической реализации регулятора, упрощения настройки и отладки использовался принцип мультипликативного управления, в котором синтезируются регуляторы для каждого выделенного автономного контура (электрогидравлический усилитель, сервомотор, гидроагрегат).

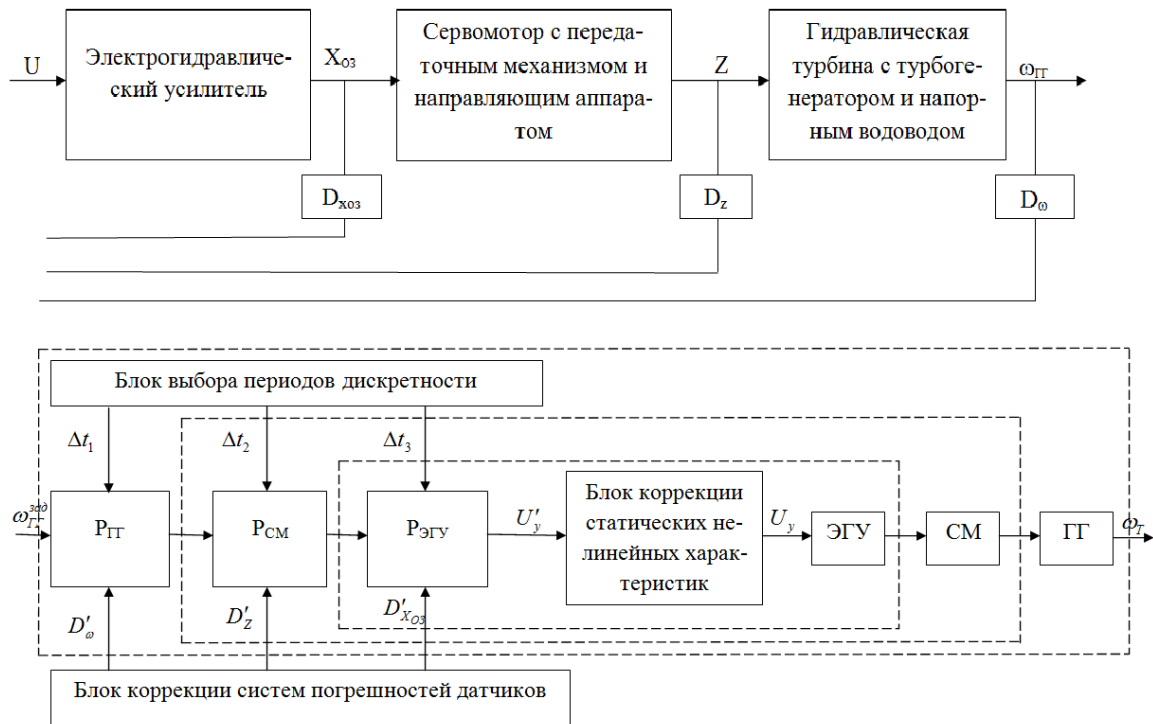


Рис. 2. – Функциональная схема мультипликативного регулятора САР частоты вращения гидротурбины

Поскольку выходы каждого контура подлежат непосредственному измерению при помощи датчиков перемещений и частоты вращения, то для каждого выделенного контура, синтезирован отдельный регулятор меньшего порядка.

А именно регуляторы первого и третьего порядка.

Векторно-матричное представление математических контуров управления:

$$\dot{\vec{X}} = A\vec{X} + B\vec{U}; \quad (6)$$

– Турбогенераторная установка с напорным водоводом:

$$\vec{X} = \begin{pmatrix} \omega_{ГТ} \\ Q \end{pmatrix}_{2 \times 1}; \quad A = \begin{pmatrix} -\frac{1}{T_{ГТ}} & \frac{K_{мл}^Q}{T_{ГТ}} \\ 0 & -\frac{1}{T_{вод}} \end{pmatrix}_{2 \times 2}; \quad \vec{U} = (NZ)_{1 \times 2}; \quad B = \begin{pmatrix} -\frac{K_{мн}^N}{T_{ГТ}} & 0 \\ 0 & \frac{K_Z^Q}{T_{вод}} \end{pmatrix}_{2 \times 2}; \quad (7)$$

– Сервомотор:

$$\vec{X} = \begin{pmatrix} X_{см} \\ V_{см} \\ \Delta P \end{pmatrix}_{3 \times 1}; \quad A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -\frac{1}{T_{см}^2} & -\frac{2\xi_{см}}{T_{см}} & \frac{K_{\Delta P}^{X_{см}}}{T_{см}^2} \\ 0 & -\frac{K_{\Delta P}}{T_{г}} & -\frac{1}{T_{г}} \end{pmatrix}_{3 \times 3}; \quad \vec{U} = X_{\omega_{ГТ}}; \quad B = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ K_{X_{03}}^P \end{pmatrix}_{3 \times 1} \quad (8)$$

– Электрогидравлический усилитель:

$$\vec{X} = \begin{pmatrix} X_{os} \\ V_{os} \\ i \end{pmatrix}_{3 \times 1}; A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -\frac{1}{T_{эгп}^{M^2}} & -\frac{2\xi_{эгп}}{T_{эгп}^M} & \frac{K_{X_{os}}^i}{T_{эгп}^{M^2}} \\ 0 & 0 & -\frac{1}{T_{эгп}^3} \end{pmatrix}_{3 \times 3} \quad (9)$$

$$\vec{U} = X_{os}; B = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{K_{iw}}{T_{эгп}^3} \end{pmatrix}_{3 \times 1} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \dot{X}_{os} &= V_{os}; \\ \dot{V}_{os} &= -\frac{1}{T_{эгп}^{M^2}} X_{os} - \frac{2\xi_{эгп}}{T_{эгп}^M} V_{os} + \frac{K_{X_{os}}^i}{T_{эгп}^3} i \\ \dot{i} &= -\frac{1}{T_{эгп}^3} i + \frac{K_{iw}}{T_{эгп}^3} U; \end{aligned} \quad (11)$$

Структурно-параметрический синтез унифицированного мультипликативного регулятора частоты вращения гидротурбины:

- Схема регулятора третьего порядка. Астатические регуляторы контуров управления электрогидравлическим усилителем и сервомотором:

$$\begin{bmatrix} C_0 \\ C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ r_0 \\ r_1 \\ r_2 \\ r_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & b_0 & 0 & 0 & 0 \\ a_0 & 0 & 0 & 0 & b_1 & b_0 & 0 & 0 \\ a_1 & a_0 & 0 & 0 & b_2 & b_1 & b_0 & 0 \\ a_2 & a_1 & a_0 & 0 & 0 & b_2 & b_1 & b_0 \\ 1 & a_2 & a_1 & a_0 & 0 & 0 & b_2 & b_1 \\ 0 & 1 & a_2 & a_1 & 0 & 0 & 0 & b_2 \\ 0 & 0 & 1 & a_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} a_{n0} \\ a_{n1} \\ a_{n2} \\ a_{n3} \\ a_{n4} \\ a_{n5} - a_0 \\ a_{n6} - a_1 \\ a_{n7} - a_2 \end{bmatrix} \quad (12)$$

- Схема регулятора второго порядка. Астатический регулятор контура управления частотой вращения гидротурбины:

$$\begin{bmatrix} c_0 \\ c_1 \\ c_2 \\ r_0 \\ r_1 \\ r_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & b_0 & 0 & 0 \\ a_0 & 0 & 0 & b_1 & b_0 & 0 \\ a_1 & a_0 & 0 & b_1 & b_0 & 0 \\ 1 & a_1 & a_0 & 0 & b_1 & b_0 \\ 0 & 1 & a_1 & 0 & 0 & b_1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{H0} \\ a_{H1} \\ a_{H2} \\ a_{H3} \\ a_{H4} - a'_0 \\ a_{H5} - a'_1 \end{bmatrix} \quad (13)$$

Реальные практические результаты в решении этой задачи можно получить, создав системную научно-техническую и нормативную базы, обеспечивающие создание и промышленное внедрение прецизионных систем автоматического регулирования частоты и мощности гидрогенераторных установок, которые способны поддержать заданную

точность и стабильность частоты вырабатываемого электрического тока, а также установленную мощность энергоблоков [8].

Анализ существующего нормативно-методического обеспечения систем автоматического регулирования гидроагрегатов

В настоящее время существует ряд нормативно-технической документации, касающейся вопросов регулирования обратимых гидравлических машин. В ней освещены вопросы автоматического регулирования, поддержания частоты и мощности, настройки регулятором, расчет технико-экономических показателей, а также методов и средств обеспечения.

В то же время западноевропейские энергосистемы (UCTE и др.) обеспечивают более высокое качество регулирования частоты.

Согласно нормам UCTE, регулирование частоты нормируется величиной и временем готовности к использованию резервов, коэффициентом статизма и зоной нечувствительности систем автоматического регулирования агрегатов ГЭС [9, 10]:

- обеспечение первичного регулирования частоты в системе за счет регулировочного резерва мощности не менее 2,5 % текущей нагрузки и его готовности к использованию от 5 до 30 сек. Коэффициент статизма агрегатов для ГЭС – 2-6 %;
- обеспечение вторичного регулирования частоты в объеме мощности наиболее крупного генерирующего блока (1000 МВт) в течение нескольких минут (до 5 мин). К нему относятся изменения мощности включенных агрегатов, выполняемые оперативно персоналом либо воздействием АРЧМ.

Указанные требования значительно отличаются от требований, приведенных в Правилах технической эксплуатации электрических станций и сетей Украины [10, 11], а также рядом других основополагающих нормативных документов, касающихся вопросов регулированию гидравлических электростанций.

Приведение выделенной части электростанций к современным требованиям по первичному и вторичному регулированию требует значительных затрат на их модернизацию и может быть реализовано только за счет сочетания технических требований к регулированию частоты в условиях конкурентного рынка электроэнергии, методологии ценообразования на рынке регулирования частоты и организации рынка регулирующей мощности [12].

Общие технические требования определены только к тем управляющим подсистемам АСУ ТП ГЭС, по которым накоплен достаточно большой опыт их функционирования. Эти подсистемы реализованы в основном на традиционных средствах и лишь в ограниченном количестве – на современных средствах вычислительной техники [13].

Применение современной вычислительной техники позволяет расширить функциональные возможности системы управления и выполнять функции, не характерные для аналоговых систем. Поэтому при разработке АСУ ТП представленные в этом документе требования могут быть дополнены с учетом потребностей конкретной ГЭС и возможностей используемой техники.

Заключение

Выполнен параметрический синтез прецизионного регулятора при помощи выбора стандартных характеристических полиномов. Использован принцип мультипликативного управления, в котором синтезируются регуляторы для каждого выделенного автономного отдельного контура.

На сегодняшний день в нормативно-технической и нормативно-методической документации недостаточно полно сформулированы универсальные нормативные методы

структурно-параметрического синтеза прецизионных САР гидроагрегатов, которые гарантированно смогли бы обеспечить высокие показатели точности регулирования частоты вращения и мощности.

В имеющейся документации по системам автоматического регулирования гидравлических турбин недостаточно полно сформулированы системные и количественные требования показателей, а также методы и средства их гарантированного технического обеспечения [14, 15].

Для составления такой документации, необходимо выполнить цикл теоретических и экспериментальных научных исследований, которые будут включать в себя математическое моделирование технологического процесса и оборудования, идентификацию математических моделей по результатам экспериментальных исследований, структурный и параметрический синтез прецизионных регуляторов.

Список использованной литературы:

1. ГОСТ 13109-97 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Москва: Изд-во стандартов, 1999. – 33с.
2. Електроенергетика [Электронный ресурс] // Режим доступа до ресурсу: <http://forca.com.ua/info/spravka/normy-kachestva-elektricheskoi-energii.html>
3. Маляренко В. А., Нерівномірність графіка навантаження енергосистеми і способи його вимірювання. Реалізації / В. А. Маляренко, І. Д. Колотило, І. Є. Нечмоглод // ЕЕЕ – 2011. – №5 (87). – С.19-22.
4. Книга 3. Развитие теплоэнергетики и гидроэнергетики [Электронный ресурс] / [И. В. Плачков, Н. И. Дунаевская, В. С. Подгуренко и др.] // Киев. – 2012. – Режим доступа к ресурсу: <http://energetika.in.ua/ru/books/book-3/part-2/section-2/2>
5. Музей гидроэнергетики УПИЦ [Электронный ресурс] // Углич. – 2005. – Режим доступа к ресурсу: Http://www.hydromuseum.ru/ru/encyclopedia/glossary/Grafik_nagruzki_obesp_srednesut_mosch
6. Канюк Г. И. Прецизионная система автоматического регулирования гидротурбины / Г. И. Канюк, А. Ю. Мезеря, В. Е. Мельников // Вестник Нац. техн. ун-та "ХПИ": сб. науч. тр. Темат. вып.: Энергетические и теплотехнические процессы и оборудование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2015. – № 17 (1126). – С. 91-96
7. Мельников В. Е. Параметрический синтез астатического регулятора САР частоты вращения гидротурбины на основе решения обратной задачи динамики [Текст] * / В. Е. Мельников // Материалы XXIII межд. науч. конф. (автоматика-2016). – Сумы, 2016. – С. 94 –95.
8. Шавлович З. А. Совершенствование конструкции и режимов работы гидравлических приводов в системах регулирования гидротурбин. / Автореферат диссертации на соискательство ученой степени кандидата технических наук. / З. А. Шавлович // – Санкт-Петербург, 2004.
9. UCTE Operation Handbook – Policy 1: Load-Frequency Control and Performance [Электронный ресурс] // Final policy 2.2 E, 2004 – Режим доступа к ресурсу: https://docuri.com/download/ucte-policy1-v22-load-frequency-control-and-performance_59c1e651f581710b286be8c8.pdf
10. Бондаренко Ю. Н. Опыт внедрения наукоемких технологий в систему управления гидроэлектростанций с целью повышения их надежности и эффективности работы в ОЭС Украины. [Электронный ресурс] / [Ю. Н. Бондаренко] // Корпорация «МАСТ-ИПРА». – 2010. – Режим доступа к ресурсу: <http://docplayer.ru/29672523-Modernizaciya-sistemy-kontrolya-i-upravleniya-energobloka-1-zuevskoy-tes-ooo-vostokenergo.html>
11. Техническая эксплуатация электрических станций и сетей. Правила, [Электронный ресурс] // // Отраслевой резервно-инвестиционный фонд развития энергетики -Издание первое, Львов: 2002.-323 с. – Режим доступа к ресурсу: http://rza.org.ua/down/open/tehnicheskaya-ekspluatatsiya-elektricheskikh-stantsiy-i-setey-pravila_31.html
12. О повышении качества первичного и вторичного регулирования частоты электрического тока в ЕЭС [Электронный ресурс] // Отраслевой резервно-инвестиционный фонд развития энергетики – Издание первое, Москва: 2002. – 78 с. – Режим доступа к ресурсу: <http://www.enersys.ru/wp-content/uploads/2009/09/prikaz.doc>
13. РД 153-34.0-35.519-98. Общие технические требования к управляющим посистемам агрегатного и стационарного уровней АСУ ТП ГЭС:РД 153-34.0-35.519-98. – М.: СПО ОРГРЭС, 1999. – 14 с.
14. Канюк Г. І. Прецизійні системи автоматичного регулювання турбогенераторних установок. / Г. І. Канюк [та ін.] // Енергосбереження. Енергетика. Енергоаудит. – 2014. – №11. – С. 12–27.

15. Попов М.А. Усовершенствование методов и способов обеспечения точности систем автоматического регулирования подачи воздуха в домны/ Рукопись/ Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.01.02 – стандартизация, сертификация и метрологическое обеспечение / М. А. Попов // Украинская инженерно-педагогическая академия. – Харьков, 2013.

References:

1. HOST 13109-97 Elektrycheskaia enerhiya. Sovmestymost tekhnicheskyykh sredstv elektromagnitnaia normy kachestva elektrycheskoi enerhiy v systemakh elektrosnabzheniya obshcheho naznacheniya. – Moskva: Yzd-vo standartov, 1999. – 33s.
2. Elektroenerhetyka [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu do resursu: <http://forca.com.ua/info/spravka/normy-kachestva-elektricheskoi-energii.html>.
3. Malyarenko V. A. Nerivnomirnist hrafika navantazhennia enerhosystemy i sposoby yoho vymiriuvannia. Realizatsii / V. A. Maliarenko, I. D. Kolotylo, I. Ye. Nechmohlod // EEE – 2011. – №5 (87). – S.19-22.
4. Knyha 3. Razvytye teploenerhetyky y hydroenerhetyky [Elektronnyi resurs] / Y. V. Plachkov, N. Y. Dunaevskaia, V. S. Podhurenko y dr. // Kyev. – 2012. – Rezhym dostupa k resursu: <http://energetika.in.ua/ru/books/book-3/part-2/section-2/2>
5. Muzei hydroenerhetyky UPUTY [Elektronnyi resurs] // Uhlych. – 2005. – Rezhym dostupa k resursu: http://www.hydromuseum.ru/ru/encyclopedia/glossary/Grafik_nagruzki_obesp_srednesut_mosch.
6. Kaniuk H. Y. Pretyzonnaia systema avtomaticheskoho rehulyrovannia hydroturbyny / H. Y. Kaniuk, A. Yu. Mezeria, V. E. Melnykov // Vestnyk Nats. tekhn. un-ta "KhPY": sb. nauch. tr. Temat. vyp.: Enerhetycheskye y teplotekhnicheskyye protsessy y oborudovanye. – Kharkov: NTU "KhPY". – 2015. – № 17 (1126). – S. 91-96.
7. Melnykov V. E. Parametrycheskyi syntez astaticheskoho rehuliatora SAR chastoty vrashcheniya hydroturbyny na osnove resheniya obratnoi zadachy dynamiky [Tekst] / V. E. Melnykov // Materyaly KhKhIII mezhd. nauch. konf. (avtomatyka-2016). Sumy, 2016. S. 94 –95.
8. Shavlovych Z. A. Sovershenstvovanye konstruktysy y rezhymov raboty hydraulycheskyykh pryvodov v systemakh rehulyrovannia hydroturbyn. / Avtoreferat dySSERTatsyy na soyskatelstvo uchenoi stepeny kandydata tekhnicheskyykh nauk. / Z. A. Shavlovych. – Sankt-Peterburh, 2004.
9. UCTE Operation Handbook – Policy 1: Load-Frequency Control and Performance [EElektronnyi resurs] // Final policy 2.2 E, 2004 – Rezhym dostupa k resursu: https://docuri.com/download/ucte-policy1-v22-load-frequency-control-and-performance_59c1e651f581710b286be8c8.pdf.
10. Bondarenko Yu. N. Opyt vnedreniya naukoemkyykh tekhnolohiy v systemu upravleniya hydroelektrostantsiy s tseliu povysheniya ykh nadezhnosti y effektivnosti raboty v OES Ukrainy. [Elektronnyi resurs] / [Yu. N. Bondarenko] // Korporatsiya «MAST-YPPRA». – 2010. – Rezhym dostupa k resursu: <http://docplayer.ru/29672523-Modernizatsiya-sistemy-kontrolya-i-upravleniya-energobloka-1-zuevskoy-tes-ooo-vostokenergo.html>.
11. Tekhnicheskaya ekspluatatsiya elektrycheskyykh stantsiy y setei. Pravyla, [Elektronnyi resurs] / // Otrasevoi rezervno-ynvestitsyonnyi fond razvytiya enerhetyky -Yzdanye pervoe, Lvov: 2002.-323 s. – Rezhym dostupa k resursu: http://rza.org.ua/down/open/tehnicheskaya-ekspluatatsiya-elektricheskikh-stantsiy-i-setey-pravila_31.html
12. O povyshenyy kachestva pervynnoho y vtorychnoho rehulyrovannia chastoty elektrycheskoho toka v EES [Elektronnyi resurs] // Otrasevoi rezervno-ynvestitsyonnyi fond razvytiya enerhetyky – Yzdanye pervoe, Moskva: 2002. – 78 s. – Rezhym dostupa k resursu: <http://www.enersys.ru/wp-content/uploads/2009/09/prikaz.doc>.
13. RD 153-34.0-35.519-98. Obshchye tekhnicheskyye trebovaniya k upravliayushchym posystemam ahrehatnoho y statsyonarnoho urovnei ASU TP HOS:RD 153-34.0-35.519-98. – M.: SPO ORHRES, 1999. – 14 s.
14. Kaniuk H. I. Pretyziini systemy avtomaticheskoho rehulyrovannia turbogeneratornykh ustanovok / H. I. Kaniuk [ta in.] // Enerhosberezheniye. Enerhetyka. Enerhoaudyt. – 2014. – №11. – S. 12–27.
15. Popov M.A. Usovershenstvovanye metodov y sposobov obespecheniya tochnosti system avtomaticheskoho rehulyrovannia podachy vozdukha v domny/ Rukopys/ DySSERTatsiya na soyskanye uchenoi stepeny kandydata tekhnicheskyykh nauk po spetsyalnosti 05.01.02 – standartyzatsiya, sertyfikatsiya y metrolohycheskoe obespecheniye / M. A. Popov // Ukraynskaia ynzhenerno-pedahohycheskaia akademyia. – Kharkov, 2013.

Прийнята до друку 10.11. 2019 р.