

УДК 620.4:681.515.4

Н.И. Пигасова¹, А.Г. Шумихин¹, Б.Г. Стафейчук¹, О.А. Смирнов²¹Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, Россия²Филиал Пермской ГРЭС АО «Интер РАО-Электрогенерация», Добрянка, Россия

ОЦЕНКА СТОХАСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ВОЗМУЩАЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ В СИСТЕМЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ МОЩНОСТИ ПРЯМОТОЧНОГО КОТЛА БЛОЧНОЙ ТЭС

В современных крупных энергосистемах блочные тепловые электрические станции привлекаются к регулированию частоты и мощности в нормальных и аварийных режимах. Выполнение задач управления мощностью энергоблоков в режиме регулирования параметров энергосистемы требует создания специальных систем регулирования частоты и мощности. Так как частота и мощность энергоблока взаимосвязаны, то задача поддержания частоты на заданных значениях реализуется системой регулирования мощности энергоблока.

В статье проводятся анализ и оценка влияния внешних возмущающих воздействий на систему регулирования мощности прямоточного котла блочной ТЭС. На сегодняшний день система автоматического регулирования мощности рассматривалась без учета реального характера возмущающих воздействий по нагрузке, и при управлении частотой ставится проблема учета стохастических свойств возмущений энергосистемы. В режиме нормальной эксплуатации стохастические свойства эквивалентного возмущения могут быть определены по результатам вычислительного эксперимента с использованием базы данных с трендами АСУТП энергоблока. Для получения эквивалентного возмущения построены модели для канала давления острого пара для котельного агрегата и для канала мощности для турбоагрегата, а также вычислены значения математического ожидания и среднеквадратичного отклонения, автокорреляционные и спектральные функции центрированных реализаций эквивалентных возмущений. Выполнен сравнительный анализ области наиболее интенсивных частот возмущающего воздействия и резонансных частот работы регуляторов КРД и ТРМ. Предложенная методика позволяет получить вероятностную модель эквивалентного возмущения котельного агрегата и турбоагрегата в режиме нормальной эксплуатации. Модели эквивалентного возмущения могут использоваться при оценке технологической эффективности предлагаемых решений по улучшению работы системы управления мощностью энергоблока.

Ключевые слова: энергоблок, система регулирования мощности, тренды, модели объекта управления, эквивалентное возмущение.

N.I. Pigasova¹, A.G. Shumikhin¹, B.G. Stafeychuk¹, O.A. Smirnov²

¹Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

²Filial Permskaia GRES AO Inter RAO-Elektrogeneratsiia,
Dobryanka, Russian Federation

ASSESSMENT OF STOCHASTIC PROPERTIES OF EQUIVALENT PERTURBATION EFFECTS IN DIRECT-FLOW POWER CONTROL SYSTEM POWER PLANT UNIT BOILER

In modern power systems, block thermal power plants are involved in the regulation of frequency and power in normal and emergency modes. The implementation of power control tasks for power units in the mode of regulating the parameters of the power system requires the creation of special frequency and power control systems. Since the frequency and power of the power unit are interrelated, the task of maintaining the frequency at a given value is implemented by the power control system of the power unit. The article analyzes and evaluates the influence of external disturbing influences on the power control system of a once-through boiler of a block-type TPP. To date, the automatic power control system has been considered without taking into account the real nature of the disturbing influences on the load and the frequency control poses the problem of taking into account the stochastic properties of power system perturbations. In the normal operation mode, the stochastic properties of the equivalent disturbance can be determined from the results of a computational experiment using the power unit's automated process control system database. To obtain an equivalent perturbation, models were constructed for the steam pressure channel for the boiler unit and the power channel for the turbine unit, and the values of the expectation and standard deviation of the autocorrelation functions were calculated. A comparative analysis of the region of the most intense perturbing frequencies and resonant frequencies of the regulator BPR and TPC is performed. The proposed method allows to obtain a probabilistic model of the equivalent perturbation of the boiler unit and the turbine unit in normal operation. Equivalent perturbation models can be used to assess the technological effectiveness of the proposed solutions to improve the performance of the power unit control system.

Keywords: power unit, power control system, trends, control object models, equivalent disturbance.

Задачей энергетики как отрасли народного хозяйства является обеспечение электрической и тепловой энергией всех ее потребителей – от промышленности до индивидуального потребителя. Одной из особенностей производства электроэнергии является невозможность выделения из всего потока электроэнергии с отклоняющимися параметрами, которая неизбежно используется потребителями. Вынужденное потребление такой электроэнергии вызывает у потребителей отказы технологического оборудования, брак продукции, нарушение режимов производства.

Частота электрического тока является одним из показателей качества электрической энергии и важнейшим параметром режима энергосистемы. Согласно [1] частота должна находиться в пределах $50 \pm 0,02$ Гц не менее 95 % времени суток, не выходя за предельно допустимые $50 \pm 0,04$ Гц. Для обеспечения выработки электроэнергии заданного качества применяется нормированное первичное и автоматическое

вторичное регулирование частоты. В работах [2, 3] установлены требования к быстрдействию изменения нагрузки энергоблока, поэтому в системе управления энергоблока задача регулирования частоты сводится к задаче регулирования мощности, так как частота и нагрузка взаимосвязаны.

Анализ литературных источников [4–9] показывает, что задача исследования системы автоматического регулирования мощности рассматривалась без учета реального характера возмущающих воздействий по нагрузке. Стандарт [2] устанавливает требования к динамическим характеристикам энергоблоков в условиях искусственно созданного скачкообразного изменения частоты. Для реальной работы энергосистемы скачкообразные изменения частоты не характерны. Сигналы частоты и активной мощности, получаемые системой автоматического управления мощностью (САУМ) энергоблока, являются стохастическими и содержат значительные шумовые составляющие.

В современных САУМ выделяют две системы автоматического регулирования мощности, которые принято считать «традиционными» [10]:

– САУМ-1, в которой давление пара поддерживается турбинным регулятором, а мощность энергоблока – котельным регулятором, воздействующим на обобщенный регулирующий орган котла. Данная система применяется преимущественно с барабанным типом котла;

– САУМ-2, в которой регулятор давления воздействует на обобщенный регулирующий орган котла, а регулятор мощности – на положение клапанов турбины. При такой системе удается быстро и точно поддерживать мощность энергоблока и существенно хуже – давление пара перед турбиной.

При управлении энергоблоками с прямоточными котлами в качестве схемы регулирования мощности энергоблока изменением давления пара применяется САУМ-2 с дополнительными форсирующими сигналами на котельный и турбинный регуляторы. На рис. 1 представлена схема САУМ-2 [11], на которой КРД – котельный регулятор давления, а ТРМ – турбинный регулятор мощности. Упрощенная структурная схема системы регулирования мощности энергоблока представлена на рис. 2, на которой $W_{11}(s)$ – передаточная функция (ПФ) по каналу «% открытия клапана на линии подачи газа – давление острого пара», $W_{22}(s)$ – ПФ по каналу «% открытия клапана на линии острого пара – мощность энергоблока», $W_{12}(s)$ – ПФ по каналу «% открытия клапана на линии подачи газа – мощность энергоблока», $W_{21}(s)$ – ПФ по каналу «положение ТРМ – давление острого пара».

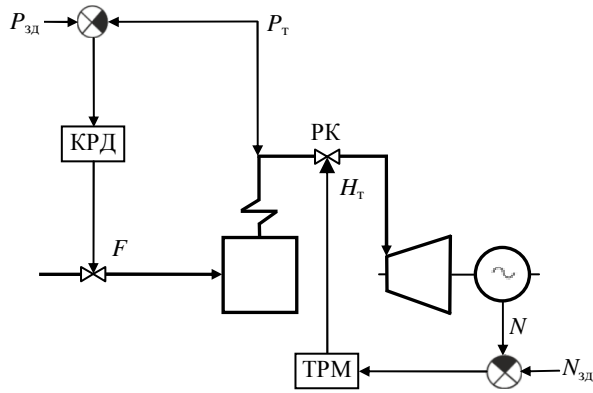


Рис. 1. Структурная схема системы САУМ-2

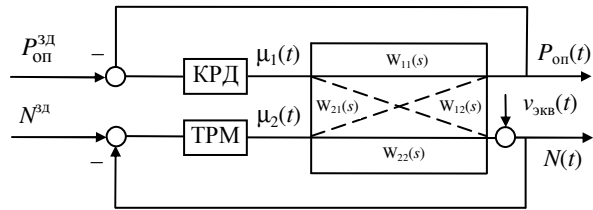


Рис. 2. Упрощенная структурная схема системы регулирования мощности энергоблока

Рассматривая задачу стабилизации мощности и давления, каждый контур регулирования можно представить одноконтурной информационной схемой (рис. 3), на которой РУ – регулирующий орган, ОУ – объект управления, $v_{эКВ}(t)$ – эквивалентное возмущающее воздействие для системы стабилизации мощности турбины, учитывающее внешние воздействия со стороны энергосистемы и функционирование КРД. Воздействие $v_{эКВ}(t)$ для системы стабилизации давления острого пара определяется возмущением от контуров стабилизации расхода топливного газа и ТРМ.

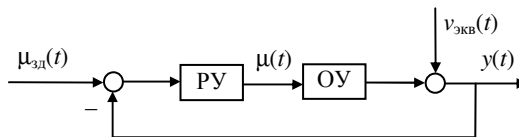


Рис. 3. Одноконтурная информационная схема

Для режима нормальной эксплуатации эквивалентные возмущения могут быть получены по результатам вычислительного эксперимента с использованием базы данных АСУТП энергоблока. Структурная схема проведения эксперимента по получению эквивалентного

возмущения согласно методике, описанной в [12], приведена на рис. 4, на которой $\mu(t)$, $y(t)$ – данные тренда системы управления, $\hat{W}_\mu(s)$ – модель объекта управления.

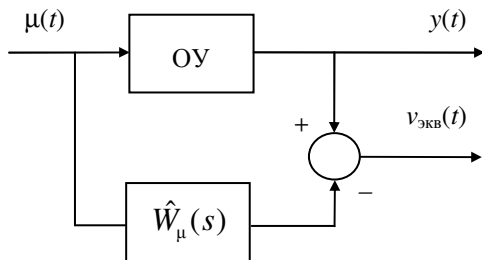


Рис. 4. Структурная схема проведения эксперимента по получению эквивалентного возмущения

За объект управления принят энергоблок 800 МВт Пермской ГРЭС, в состав которого входят прямоточный котел типа ТПП-804 (ПП-2650-255-545/545) ТКЗ, паровая турбина К-800-240-5 ПО ЛМЗ и генератор переменного тока ТЗВ-800-2УЗ ЛЗО «Электросила». АСУТП реализовано на базе технических средств ПТК TELEPERM ХР-Р. Сотрудниками электростанции в 2015 г. проведены эксперименты по исследованию динамических характеристик объекта управления.

Временные экспериментальные характеристики обработаны методом Симою для котельного агрегата и методом наименьших квадратов для турбоагрегата [13–15], что позволило получить передаточные функции по каналам воздействий следующего вида, МПа/%:

$$W_{\mu_{11}}(s) = \frac{0,14e^{-146s}}{2835s^2 + 94s + 1}, \quad (1)$$

$$W_{\mu_{12}}(s) = \frac{4,6e^{-240s}}{2600s^2 + 127s + 1}, \quad (2)$$

$$W_{\mu_{22}}(s) = \frac{9,3}{4s + 1} \left[1 - \frac{1}{286s + 1} \right], \quad (3)$$

$$W_{\mu_{22}}(s) = \frac{9,3e^{-2s}}{4s + 1}, \quad (4)$$

где $W_{\mu_{11}}(s)$ – передаточная функция канала «расход топливного газа (% открытия клапана по газу) – давление острого пара»; $W_{\mu_{12}}(s)$ – передаточная функция канала «расход топливного газа (% открытия кла-

пана по газу) – мощность энергоблока»; $W_{\mu_{22}}(s)$ – передаточная функция канала «расход острого пара (% открытия клапана) – мощность энергоблока с учетом проседания мощности турбины, вызванной небалансом вырабатываемого острого пара и необходимого расхода острого пара для обеспечения заданной мощности»; $W_{\mu_{22}}(s)$ – передаточная функция канала «расход острого пара (% открытия клапана) – мощность энергоблока без учета проседания мощности, вызванной небалансом вырабатываемого острого пара».

Тренды технологических параметров энергоблока в режиме нормальной эксплуатации приведены на рис. 5.

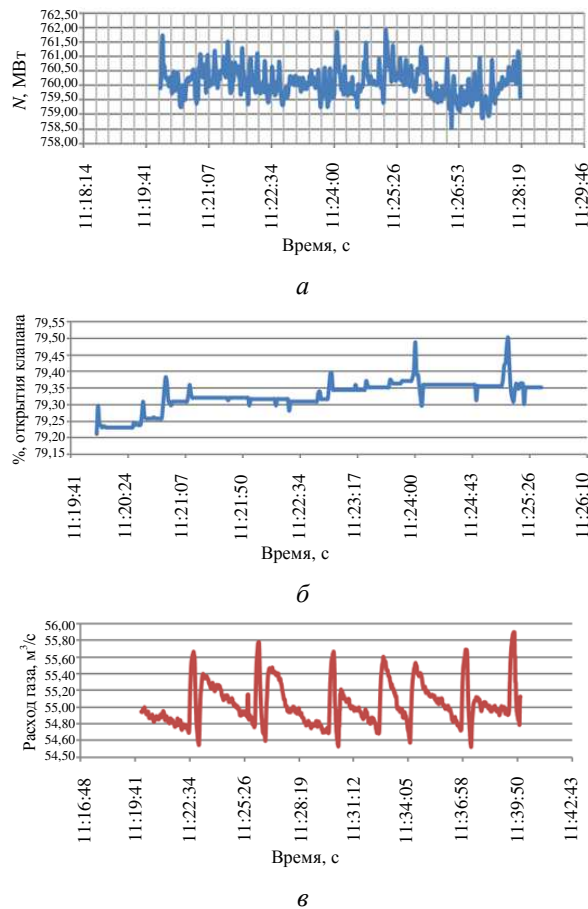


Рис. 5. Фрагменты трендов сигналов технологических параметров в режиме нормальной эксплуатации энергоблока: а – мощность энергоблока; б – положение клапана турбинного регулятора мощности; в – расход газа

В приложении Simulink математического пакета MatLab [16] построены модели получения эквивалентного возмущения по давлению острого пара для котельного агрегата и по мощности для турбоагрегата. Структурная схема получения эквивалентного возмущения системы стабилизации давления острого пара представлена на рис. 6.

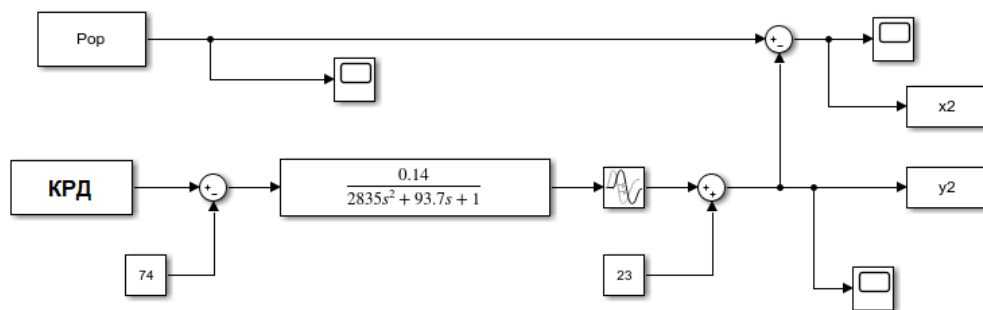


Рис. 6. Структурная схема получения эквивалентного возмущения системы стабилизации давления острого пара

В [17, 18] рассмотрены результаты оценки трендов технологических параметров системы управления мощностью энергоблока 800 МВт Пермской ГРЭС, работающего в режиме нормальной эксплуатации. Значения математического ожидания и среднеквадратичного отклонения, автокорреляционные и спектральные функции центрированных реализаций эквивалентных возмущений контуров стабилизации давления острого пара и нагрузки турбоагрегата приведены на рис. 7.

Модели автокорреляционных функций эквивалентных возмущений согласно [19, 20] рассматриваются в виде выражения

$$R(\tau) = \sigma^2 e^{-\frac{1}{T_{\text{экв}}}|\tau|} \cdot \cos(\omega t).$$

Полученные оценки эквивалентных возмущений свидетельствуют, что адекватной моделью объекта управления для турбинного регулятора мощности в режиме нормальной эксплуатации является передаточная функция (4). В этой модели не учитывается эффект «проседания мощности энергоблока», вызванный небалансом острого пара. Небаланс острого пара при исследовании контура регулирования мощности блока следует рассматривать как ограничение на управляющее воздействие.

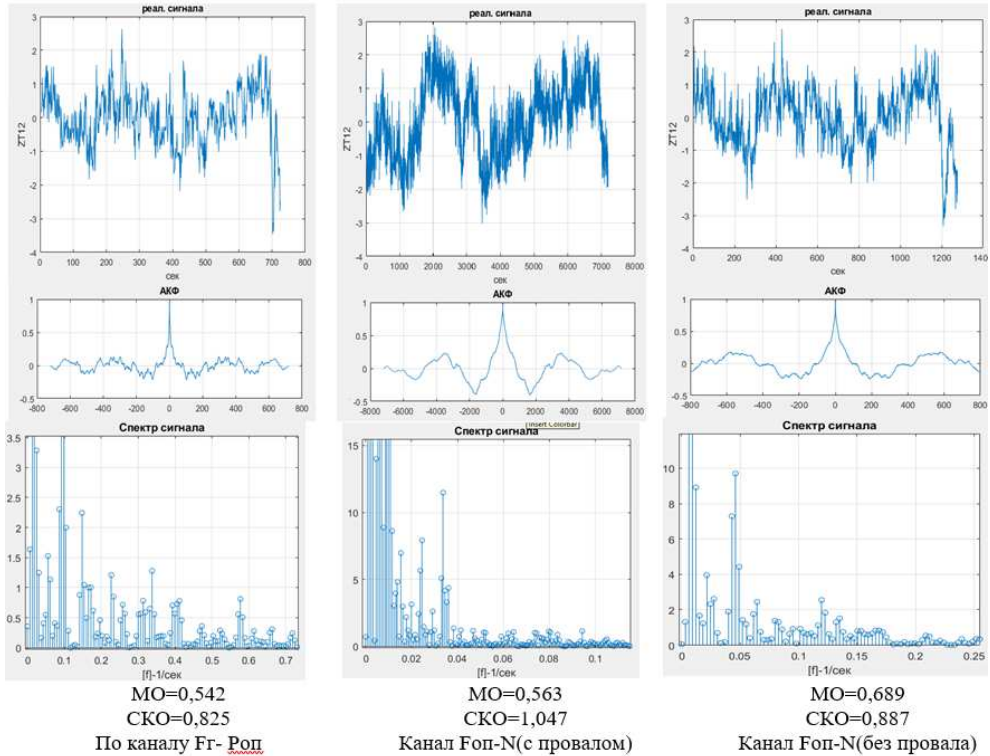


Рис. 7. Вероятностные оценки эквивалентного возмущения для котельного агрегата и турбоагрегата в режиме нормальной эксплуатации

Сравнительный анализ области наиболее интенсивных частот эквивалентных возмущающих воздействий показал, что диапазон интенсивных частот спектра эквивалентных возмущений для турбинного регулятора мощности лежит в диапазоне от 0 до 0,05 Гц, а для котельного регулятора давления – в диапазоне от 0 до 0,1 Гц.

Решение задачи параметрического синтеза ПИ-алгоритма ТРМ и КРД выполнялось с использованием моделей динамики вход-выход (3) и (4) по методике [12] для степени затухания 0,9 и ограничении на частотный показатель колебаний. Значения параметров ПИ-алгоритма следующие:

- для КРД: $K_p = 3,2$ [%/МПа], $T_i = 82$ с, $f_{рез} = 0,0014$ Гц;
- для ТРМ: $K_p = 0,14$ [%/МПа], $T_i = 3$ с, $f_{рез} = 0,08$ Гц.

Сравнение диапазона интенсивных частот спектра эквивалентных возмущений и резонансных частот ($f_{рез} = 0,0014$ Гц , Δf 0–0,1 Гц

для КРД; $f_{рез} = 0,08$ Гц, $\Delta f 0-0,05$ Гц для ТРМ) показывает, что в режиме нормальной эксплуатации эффективное управление мощностью энергоблока можно обеспечить лишь системой вторичного регулирования частоты ТРМ.

Особенностью модели динамики объекта управления для КРД является значительное запаздывание по каналу управления. Резервом повышения эффективности системы автоматического управления мощности энергоблока является применение алгоритмов улучшенного управления (упредитель Смита, управление с применением внутренней модели).

Выводы. Выполненное исследование позволило получить оценки стохастических свойств эквивалентных возмущений системы управления мощностью энергоблока. Анализ спектральных характеристик эквивалентных возмущений и частотных свойств замкнутых контуров котельного регулятора давления и турбинного регулятора мощности показывает, что резервом повышения эффективности системы управления мощностью энергоблока является применение алгоритмов улучшенного управления.

Библиографический список

1. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Стандартинформ, 2014. – С. 16.
2. Стандарт СО-ЦДУ ЕЭС 001-2005. Нормы участия энергоблоков ТЭС в нормированном первичном и автоматическом вторичном регулировании частоты (СТО 59012820.27.100.002-2005). – М., 2005.
3. Стандарт организации АО «СО-ЕЭС» Регулирование частоты и потоков активной мощности в ЕЭС России. Нормы и требования (СТО 59012820.27.100.003-2012), (ред. от 31.01.2017). – М., 2012.
4. Ефимов А.Е., Крылов В.Ю. Алгоритмы критериев контроля участия энергоблоков ТЭС в нормированном первичном регулировании частоты // Электрические станции. – 2014. – № 11. – С. 30–35.
5. Давыдов Н.И., Бояршинов Д.Г. Модульные исследования системы автоматического регулирования мощности энергоблока 800 МВт

на базе его динамических характеристик // Control-2003: тр. междунар. конф. – М.: Изд. дом МЭИ. – 2003. – С. 80–88.

6. Зорченко Н.В., Давыдов Н.И., Григоренко А.А. Исследование влияния формирующих сигналов в системе автоматического управления мощностью энергоблока на его приемистость // Теплоэнергетика. – 2006. – № 10. – С. 42–50.

7. Ковриго Ю.М., Фоменко Б.В., Бунке А.С. Повышение эффективности регулирования котлов путем учета технологических ограничений // Теплоэнергетика. – 2012. – № 2. – С. 58–63.

8. Биленко В.А., Шавочкин И.А. Анализ эффективности введения сложных законов преобразования дополнительных сигналов в многоконтурных автоматических системах регулирования энергоблоков // Теплоэнергетика. – 2006. – № 4. – С. 57–65.

9. О задачах исследования адаптивного управления электростанциями на базе конвертированных авиационных ГТУ / Б.В. Кавалеров, И.В. Бахирев, Г.А. Килин, Е.А. Маталасова // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2014. – № 11. – С. 67–80.

10. Жигунов В.В., Шавочкин И.А. Повышение эффективности управления мощностью энергоблоков с применением дифференцирования в котельном регуляторе давления пара перед турбиной // Теплоэнергетика. – 2011. – № 10. – С. 60–69.

11. Жигунов В.В. Исследование и внедрение автоматических систем регулирования для интегрирующих объектов в теплоэнергетике: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06. – М., 2016. – 179 с.

12. Ротач В.Я. Теория автоматического управления: учебник для вузов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд. дом МЭИ, 2008. – 396 с.

13. Алексеев С.В., Федорова Т.Л. Идентификация характеристик энергосистем как объектов управления по частоте и активной мощности // Электричество. – 1981. – № 12. – С. 1–8.

14. Солонина А.И., Арбузов С.М. Цифровая обработка сигналов. Моделирование в MatLab: учеб. пособие. – СПб.: БХВ-Петербург, 2008. – 816 с.

15. Берсенева Н.И., Шумихин А.Г., Стафейчук Б.Г. Исследование свойств реальных возмущающих воздействий в системе управления мощностью энергоблока 800 МВт // Энергия-2017: материалы

XII Междунар. науч.-техн. конф. студ., аспирантов и молодых ученых: в 6 т. Т. 5. Математическое моделирование и информационные технологии. – Иваново: Изд-во Иванов. гос. энергетич. ун-та им. В.И. Ленина, 2017. – 232 с.

16. Берсенева Н.И., Шумихин А.Г., Стафейчук Б.Г. Выбор структуры стабилизации давления пара энергоблока 800 МВт с учетом свойств реальных возмущающих воздействий и динамики объекта регулирования. Теплоэнергетика // Энергия-2019: материалы XIV Междунар. науч.-техн. конф. студ., аспирантов и молодых ученых: в 6 т. Т.1. – Иваново: Изд-во Иванов. гос. энергетич. ун-та им. В.И. Ленина, 2019.

17. Липатов И.Н. Аппроксимация оценки корреляционной функции эргодического стационарного случайного процесса затухающей косинусоидой // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2010. – № 4. – С. 80–85.

18. Бендат Дж., Пирсон А. Прикладной анализ случайных данных: пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – С. 540.

19. Денисенко В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. – М.: Горячая линия-Телеком, 2008. – 608 с.

20. Astrom K.J., Hagglund T. Advanced PID control The Instrumentation, Systems and Automation Society. – 2006. – 460 p. (ISA).

References

1. GOST 32144-2013. Elektricheskaia energiiia. Sovmestimost' tekhnicheskikh sredstv elektromagnitnaia. Normy kachestva elektricheskoi energii v sistemakh elektrosnabzheniia obshchego naznacheniiia [GOST 32144-2013. Electric Energy. Electromagnetic compatibility. Quality standards for electric energy in general power supply systems]. Moscow: Standartinform, 2014. P. 16.

2. Standart SO-TsDU EES 001-2005. Normy uchastiia energoblokov TES v normirovannom pervichnom i avtomaticheskom vtorichnom regulirovanii chastoty (STO 59012820.27.100.002-2005) [Standard SO-CDU UES 001-2005. Norms of participation of TPP power units in standardized primary and automatic secondary frequency control (STO 59012820.27.100.002-2005)]. Moscow, 2005.

3. Standart organizatsii AO «SO-EES» Regulirovanie chastoty i peretokov aktivnoi moshchnosti v EES Rossii. Normy i trebovaniia (STO 59012820.27.100.003-2012), (redaktsiia ot 31.01.2017) [Organization Standard of SO-UES JSC Regulation of the frequency and flows of active power in the UES of Russia. Norms and requirements (STO 59012820.27.100.003-2012), (edition of 01/31/2017)]. Moscow, 2012.

4. Efimov A.E., Krylov V.Iu. Algoritmy kriteriev kontroliia uchastiia energoblokov TES v normirovannom pervichnom regulirovanii chastoty [Algorithms of criteria for controlling the participation of power units of thermal power plants in the normalized primary frequency control]. *Elektricheskie stantsii*, 2014, no. 11, pp. 30-35.

5. Davydov N.I., Boiarshinov D.G. Modul'nye issledovaniia sistemy avtomaticheskogo regulirovaniia moshchnosti energobloka 800 MVt na baze ego dinamicheskikh kharakteristik [Unit studies of the automatic power control system of a 800 MW power unit based on its dynamic characteristics]. *Control-2003. Trudy mezhdunarodnoi konferentsii*. Moscow: Moskovskii energeticheskii institut, 2003, pp. 80-88.

6. Zorchenko N.V., Davydov N.I., Grigorenko A.A. Issledovanie vliianiia formiruiushchikh signalov v sisteme avtomaticheskogo upravleniia moshchnost'iu energobloka na ego priemistost' [Investigation of the influence of forming signals in the system of automatic control of power unit on its pickup]. *Teploenergetika*, 2006, no. 10, pp. 42-50.

7. Kovrigo Iu.M., Fomenko B.V., Bunke A.S. Povyshenie effektivnosti regulirovaniia kotlov putem ucheta tekhnologicheskikh ogranichenii [Improving the efficiency of boiler regulation by taking into account technological limitations]. *Teploenergetika*, 2012, no. 2, pp. 58-63.

8. Bilenko V.A., Shavochkin I.A. Analiz effektivnosti vvedeniia slozhnykh zakonov preobrazovaniia dopolnitel'nykh signalov v mnogokonturnykh avtomaticheskikh sistemakh regulirovaniia energoblokov [Analysis of the effectiveness of the introduction of complex laws for the conversion of additional signals in multi-circuit automatic control systems of power units]. *Teploenergetika*, 2006, no. 4, pp. 57-65.

9. Kavalerov B.V., Bakhirev I.V., Kilin G.A., Matalasova E.A. O zadachakh issledovaniia adaptivnogo upravleniia elektrostantsiiami na baze konvertirovannykh aviatsionnykh GTU [About tasks to research the adaptive power station operation based on converted aircraft gas turbines]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo*

universiteta. Elektrotehnika, informatsionnye tekhnologii, sistemy upravleniia, 2014, no. 11, pp. 67-80.

10. Zhigunov V.V., Shavochkin I.A. Povyshenie effektivnosti upravleniia moshchnost'iu energoblokov s primeneniem differentsirovaniia v kotel'nom regulatore davleniia para pered turbinoi [Improving the efficiency of power unit control using differentiation in the boiler steam pressure regulator in front of the turbine]. *Teploenergetika*, 2011, no. 10, pp. 60-69.

11. Zhigunov V.V. Issledovanie i vnedrenie avtomaticheskikh sistem regulirovaniia dlia integriruiushchikh ob"ektov v teploenergetike [Research and implementation of automatic control systems for integrating facilities in the power system]. Ph.D. thesis. Moscow, 2016. 179 p.

12. Rotach V.Ia. Teoriia avtomaticheskogo upravleniia [Automatic control theory]. 5nd ed. Moscow: Moskovskii energeticheskii institut, 2008. 396 p.

13. Alekseev S.V., Fedorova T.L. Identifikatsiia kharakteristik energosistem kak ob"ektov upravleniia po chastote i aktivnoi moshchnosti [Identification of the characteristics of power systems as objects of control by frequency and active power]. *Elektrichestvo*, 1981, no. 12, pp. 1-8.

14. Solonina A.I., Arbuzov S.M. Tsifrovaia obrabotka signalov. Modelirovanie v MatLab [Digital signal processing. Simulation in MatLab]. Saint Petersburg: BKhV-Peterburg, 2008. 816 p.

15. Berseneva N.I., Shumikhin A.G., Stafeichuk B.G. Issledovanie svoistv real'nykh vozmushchaiushchikh vozdeistvii v sisteme upravleniia moshchnost'iu energobloka 800 MVt [Investigation of the properties of real disturbing influences in the power control system of a 800 MW power unit]. *Energiia-2017. Materialy XII Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh. Tom 5. Matematicheskoe modelirovanie i informatsionnye tekhnologii*. Ivanovo: Ivanovskii gosudarstvennyi energeticheskii universitet imeni V.I. Lenina, 2017. 232 p.

16. Berseneva N.I., Shumikhin A.G., Stafeichuk B.G. Vychor struktury stabilizatsii davleniia para energobloka 800 MVt s uchedom svoistv real'nykh vozmushchaiushchikh vozdeistvii i dinamiki ob"ekta regulirovaniia. *Teploenergetika* [The choice of the structure of the vapor pressure stabilization of the 800 MW power unit, taking into account the properties of real disturbing influences and the dynamics of the controlled object]. *Energiia-2019. Materialy XIV Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii*

studentov, aspirantov i molodykh uchenykh. Tom 1. Ivanovo: Ivanovskii gosudarstvennyi energeticheskii universitet imeni V.I. Lenina, 2019.

17. Lipatov I.N. Approksimatsiia otsenki korreliatsionnoi funktsii ergodicheskogo statsionarnogo sluchainogo protsessa zatukhaiushchei kosinusoidoi [Approximation of the estimate of the correlation function of an ergodic stationary random process by a damped cosine wave]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Elektrotehnika, informatsionnye tekhnologii, sistemy upravleniia*, 2010, no. 4, pp. 80-85.

18. Bendat Dzh., Pirson A. Prikladnoi analiz sluchainykh dannykh [Applied analysis of random data]. Moscow: Mir, 1989. P. 540.

19. Denisenko V.V. Komp'yuternoe upravlenie tekhnologicheskim protsessom, eksperimentom, oborudovaniem [Computer control of technological process, experiment, equipment]. Moscow: Goriachaia liniia-Telekom, 2008. 608 p.

20. Astrom K.J., Hagglund T. Advanced PID control The Instrumentation, Systems and Automation Society, 2006, 460 p. (ISA).

Сведения об авторах

Пигасова Наталья Ивановна (Пермь, Россия) – аспирантка кафедры «Оборудование и автоматизация химических производств» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: n.bers@mail.ru).

Шумихин Александр Георгиевич (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор, кафедры «Оборудование и автоматизация химических производств» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: atp@pstu.ru).

Стафейчук Борис Григорьевич (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Оборудование и автоматизация химических производств» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: atp@pstu.ru).

Смирнов Олег Анатольевич (Добрянка, Россия) – инженер АСУТП филиала Пермской ГРЭС АО «Интер РАО-Электрогенерация» (618740, Добрянка, Промышленная, 1, e-mail: osmirnov@permgres.ru).

About the authors

Pigasova Natalya Ivanovna (Perm, Russian Federation) is a Graduate Student of the department Equipment and automation of chemical production Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, 29, Komsomolsky pr., e-mail: n.bers@mail.ru).

Shumikhin Alexander Georgievich (Perm, Russian Federation) is a Doctor of Technical Sciences, Professor of the department Equipment and automation of chemical production Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, 29 Komsomolsky pr., e-mail: atp@pstu.ru).

Stafeichuk Boris Grigorievich (Perm, Russian Federation) is a Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor of the department Equipment and automation of chemical production of Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, 29 Komsomolsky pr., e-mail: atp@pstu.ru).

Smirnov Oleg Anatolevich (Dobryanka, Russian Federation) is e Engineer for automated process control systems Branch Permskaya GRES JSC Inter RAO-Electric Power Plants (618740, Dobryanka, Promyshlennaya, 1, e-mail: osmirnov@permgres.ru).

Получено 17.07.2019