

УДК [621.313.322:681.51]:006.85

АНАЛІЗ НОРМАТИВНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ГІДРОГЕНЕРАТОРНИХ УСТАНОВОК ГЕС та ГАЕС

©Канюк Г. І., Мезеря А. Ю., Мельников В. Є.

Українська інженерно-педагогічна академія

Інформація про авторів:

Канюк Геннадій Іванович: ORCID: 0000-0003-1399-9039; melnykov.viacheslav@gmail.com; доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри теплоенергетики та енергозберігаючих технологій, Українська інженерно-педагогічна академія, вул. Університетська 16, м. Харків, 61003, Україна.

Мезеря Андрій Юрійович: ORCID: 0000-0003-2946-9593; melnykov.viacheslav@gmail.com; кандидат технічних наук, доцент кафедри теплоенергетики та енергозберігаючих технологій, Українська інженерно-педагогічна академія, вул. Університетська 16, м. Харків, 61003, Україна.

Мельников В'ячеслав Євгенович: ORCID: 0000-0001-6427-6805; melnykov.viacheslav@gmail.com; асистент кафедри теплоенергетики та енергозберігаючих технологій, Українська інженерно-педагогічна академія, вул. Університетська 16, м. Харків, 61003, Україна.

В статті проведено аналіз існуючого нормативно-методичного забезпечення систем автоматичного регулювання гідроагрегатів, який показав, що на сьогоднішній день в нормативно-технічній та нормативно-методичній документації фактично відсутні універсальні нормативні методи структурно-параметричного синтезу прецизійних САР гідроагрегатів, які гарантовано змогли б забезпечити високі показники точності регулювання частоти обертання і потужності.

Визначено, що у вітчизняних нормативно-технічних документах нормально допустимі і гранично допустимі значення відхилення частоти значно менші, ніж у західноєвропейських енергосистемах, які об'єднані у ENTSO-E (Інтегрована європейська мережа системних операторів передачі електроенергії), де первинним і вторинним регулюванням забезпечують більш високу якість регулювання частоти. Згідно з нормами UCTE (Енергооб'єднання європейських країн), що входить до складу ENTSO-E, регулювання частоти нормується величиною і часом готовності до використання резервів, коефіцієнтом статизму і зоною нечутливості систем автоматичного регулювання агрегатів ГЕС.

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

Канюк Г. И., Мезеря А. Ю., Мельников В. Е. «Анализ нормативного обеспечения систем автоматического регулирования гидрогенераторных установок ГЭС и ГАЭС».

В статье проведен анализ существующего нормативно-методического обеспечения систем автоматического регулирования гидроагрегатов, который показал, что на сегодняшний день в нормативно-технической и нормативно-методической документации фактически отсутствуют универсальные нормативные методы структурно-параметрического синтеза прецизионных САР гидроагрегатов, которые гарантированно смогли бы обеспечить высокие показатели точности регулирования частоты вращения и мощности.

Определено, что в отечественных нормативно-технических документах нормально допустимые и предельно допустимые значения отклонения частоты значительно меньше, чем в

западноевропейских энергосистемах, объединенных в ENTSO-E (Интегрированная европейская сеть системных операторов передачи электроэнергии), где первичным и вторичным регулированием, обеспечивают более высокое качество регулирования частоты. Согласно нормам UCTE (энергообъединение европейских стран), входящий в состав ENTSO-E, регулирование частоты нормируется величиной и временем готовности к использованию резервов, коэффициентом статизма и зоной нечувствительности систем автоматического регулирования агрегатов ГЭС.

Ключевые слова: нормативное обеспечение; гидрогенератор; система автоматического регулирования

Kanyuk G., Mezerya A., Melnikov V. “Analysis of regulatory support for automatic control systems for HPP and PSPP”.

The article analyzes the existing normative and methodical support for automatic control systems for hydraulic turbo-alternators, which showed that currently there are no universal normative methods of structural-parametric synthesis of precision ATS hydraulic units that can be guaranteed to provide high performance in normative, technical and normative-methodological documentation. accuracy of speed and power control.

It is determined that in domestic regulatory and technical documents the normally permissible and maximum permissible values of the frequency deviation are significantly less than in the West European power systems united in ENTSO-E (European Network of Transmission System Operators for Electricity) where primary and secondary control provide higher quality frequency regulation. According to the norms of the UCTE (Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity), which is part of ENTSO-E, the frequency regulation is normalized by the amount and time of readiness for the use of reserves, the coefficient of static and the dead zone of the automatic control systems of HPP units.

Key words: regulatory support; hydroelectric generator; automatic control system.

1. Вступ

Стабільність частоти електричного струму в електричній мережі є одним з найважливіших показником якості електроенергії. Цей показник забезпечується ефективністю роботи систем автоматичного регулювання частоти і потужності (САР Ч і П) гідрогенераторних установок, а саме – показниками їх статичної та динамічної точності, які повинні забезпечувати мінімальне відхилення частоти обертання роторів гідрогенераторів від заданих режимних значень [1, 2].

Підвищення ефективності автоматичного регулювання гідравлічних турбін – важлива та актуальна науково-технічна задача, рішення якої дозволить підвищити техніко-економічні характеристики гідроагрегатів і забезпечити високу якість електроенергії, що виробляється гідравлічними електростанціями.

Реальні практичні результати у вирішенні цієї задачі можна отримати, створивши системну науково-технічну і нормативну бази, які б забезпечили створення і промислове впровадження прецизійних систем автоматичного регулювання частоти і потужності гідрогенераторних установок, які здатні підтримати задану точність і стабільність частоти електричного струму, а також встановленої потужності енергоблоків ГЕС [1, 2].

2. Мета і завдання досліджень

Мета досліджень полягає у проведенні аналізу існуючих науково-технічної та нормативної бази щодо систем автоматичного регулювання гідравлічних турбін з подальшим визначенням ефективних методів підвищення їх статичної та динамічної точності.

3. Аналіз існуючого нормативно-методичного забезпечення систем автоматичного регулювання гідроагрегатів

На сьогодні існує ряд нормативно-технічної документації, що стосується питань регулювання оборотних гідравлічних машин. В ній висвітлено питання автоматичного регулювання, підтримки частоти і потужності, настройки регуляторів, розрахунок техніко-економічних показників, а також методів і засобів забезпечення якості регулювання, зокрема допустимі відхилення частоти для систем, оснащених гідравлічними, електрогідравлічними регуляторами складають, відповідно, 0,3 та 0,1 % [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12].

У той же час західноєвропейські енергосистеми (UCTE та ін.) первинним і вторинним регулюванням забезпечують більш високу якість регулювання частоти електричного струму. Згідно з нормами UCTE регулювання частоти нормується величиною та часом готовності до використання резервів, коефіцієнтом статизму і зоною нечутливості систем автоматичного регулювання агрегатів ГЕС, а допустимі відхилення частоти складають не більше 0,06 %.

Основними задачами систем регулювання є [13, 14]:

- забезпечення первинного регулювання частоти в системі за рахунок регульовального резерву потужності не менше 2,5 % поточного навантаження і його готовність до використання від 5 до 30 с. Коефіцієнт статизму агрегатів для ГЕС – 2-6 %;
- забезпечення вторинного регулювання частоти в обсязі потужності найбільшого генеруючого блоку протягом декількох хвилин (до 5 хв). До нього відносяться зміни потужності включених агрегатів, що виконуються оперативно персоналом або впливом САР Ч і П.

Зазначені вимоги значно відрізняються від вимог, приведених в Правилах технічної експлуатації електричних станцій і мереж України [14, 15], а також рядом інших основоположних нормативних документів, що стосуються питань регулювання гідравлічних електростанцій [16].

Приведення виділеної частини електростанцій до сучасних вимог по первинному та вторинному регулюванню вимагає значних затрат на їх модернізацію і може бути реалізовано за рахунок поєднання технічних вимог до регулювання частоти в умовах конкурентного ринку електроенергії, методології ціноутворення на ринку регулювання частоти і організації ринку регулюючої потужності [16].

У документі РД 153-34.0-35.519-98 визначені загальні технічні вимоги тільки до тих керуючим підсистем автоматизованої системи управління ГЕС, за якими накопичено чималий досвід їх функціонування. Ці підсистеми реалізовані в основному на традиційних засобах і лише в обмеженій кількості – на сучасних засобах обчислювальної техніки.

Застосування сучасної обчислювальної техніки дозволяє розширити функціональні можливості системи управління і виконувати функції, не характерні для аналогових систем. Тому при розробці АСУ ТП представлені в цьому документі вимоги можуть бути доповнені з урахуванням потреб конкретної ГЕС і можливостей використовуваної техніки.

Загальні технічні вимоги (ЗТВ) до програмно-технічних комплексів для АСУ ТП гідроелектростанцій наведені у РД 153-34.2-35.520-99. Вони поширюються на програмно-технічні комплекси (ПТК) автоматизованих систем управління технологічними процесами (АСУ ТП) гідроелектростанцій.

Документ розроблений на основі «Загальних технічних вимог до програмно-технічних комплексів для АСУ ТП теплових електростанцій» [3] з урахуванням специфічних вимог до функцій АСУ ТП ГЕС, представлених в ЗТВ тільки в тій частині, яка впливає на вибір або розробку ПТК.

Більш докладно функціональні вимоги наведені в «Загальних технічних вимогах до інформаційної підсистемі АСУ ТП ГЕС [16] і «Загальних технічних вимогах до керуючих підсистемах агрегатного і станційного рівнів АСУ ТП ГЕС»[2].

ГОСТ 12405-81 поширюється на електрогідравлічні регулятори, які є складовою частиною системи регулювання і призначені для автоматичного регулювання частоти обертання і управління гідротурбінами і насос-турбінами, а також для індивідуального і групового регулювання активної потужності гідроагрегатів. У ньому вказані типи та основні параметри, загальні технічні вимоги до ЕГР, вимоги безпеки, комплектність [18].

ГОСТ 12.2.007.0-75 поширюється на електротехнічні вироби і встановлює загальні вимоги безпеки до їх конструкції. Стандарт встановлює вимоги безпеки, що запобігають або зменшують до допустимого рівня вплив на людину. Стандарт встановлює також вимоги, які знижують ймовірність виникнення пожежі.

В державних будівельних нормах України ДБН Д.2.3-22-99 міститься ресурсні елементні кошторисні норми на монтаж устаткування, необхідні для визначення потреби в ресурсах при виконанні робіт по монтажу обладнання гідроелектричних станцій і гідротехнічних споруд. Але в даних нормах не враховано ресурси на монтаж регуляторів напруги, приладів автоматики, апаратури збудження, гасіння поля і релейного захисту генераторів, які визначаються за відповідними збірниками ресурсних елементних кошторисних норм на монтаж устаткування.

Згідно ГОСТ 13109-87, при регулюванні частоти електричного струму і потужності в енергосистемі допускаються відхилення частоти електричного струму в межах 0,1% від номінального значення.

Основні нормативні документи показані в табл. 1.

Таблиця 1 – Основні стандарти з гідравлічних турбін

РД 34.31.301-86. Методичні вказівки з випробувань системи регулювання гідротурбін (МУ 34-70-160-86).	Методичні вказівки з випробувань системи регулювання поворотно-лопасних, радіальних та осьових гідротурбін
ГОСТ 12405-81 Регулятори електрогідравлічні для гідравлічних турбін. Технічні умови.	Поширюється на електрогідравлічні регулятори, які є складовою частиною системи регулювання і призначені для автоматичного регулювання частоти обертання і управління гідротурбінами і насос-турбінами, а також для індивідуального і групового регулювання активної потужності гідроагрегатів

Продовження таблиці 1

ГОСТ 4.427-86. Система показників якості продукції. Устаткування гідравлічних турбін. Номенклатура показників.	Встановлює номенклатуру показників якості електрогідравлічних регуляторів і маслонапорних установок, що включаються в ТЗ на НДР за визначенням перспектив розвитку певної категорії, знову розробляються і переглядаються стандарти на продукцію виду ОТУ, ТЗ на ДКР, ТУ, КУ, ГОСТ ОТТ.
ГОСТ 8339-84. Установки маслонапорні для гідравлічних турбін. Технічні умови.	Поширюється на маслонапорні установки з номінальним надлишковим тиском 4,0 і 6,3 МПа, призначені для живлення маслом під тиском системи управління і регулювання гідравлічних турбін, насосів-турбін і затворів напірних трубопроводів.
РД 153-34.2-31.302-2001. Методичні вказівки по проведенню натурних випробувань гідротурбіни агрегатів при введенні їх в експлуатацію на ГЕС.	Методичні вказівки визначають обсяг і зміст натурних випробувань гідротурбіни агрегатів (гідроагрегатів) перед прийманням ГЕС в постійну експлуатацію, але протягом гарантійного терміну кожного гідроагрегату або при введенні гідроагрегатів після реконструкції або модернізації на діючій ГЕС. Результати випробувань представляються приймальної комісії замовника для врахування їх при вирішенні питання про готовність гідроагрегатів до здачі в експлуатацію.
ГІД 34.01.101-2009. Чинні галузеві нормативні документи з експлуатації та ремонту електростанцій та мереж. Показчик (станом на 01.01.2018).	Вхідний контроль енергетичного устаткування та засобів керування. Метрологічне забезпечення інформаційно-вимірвальних систем і автоматизованих систем керування. Контроль, випробування гідротехнічних споруд. Проектування гідротехнічних споруд. Технічне обслуговування, ремонт ГЕС.
ГОСТ 23956-80. Турбіни гідравлічні. Терміни та визначення.	Цей стандарт встановлює застосовувані в науці, техніці і виробництві терміни та визначення гідравлічних турбін. Терміни, встановлені стандартом, обов'язкові для застосування в документації всіх видів, науково-технічної, навчальної та довідкової літератури.
ГОСТ 27528-87. Турбіни гідравлічні поворотно-лопатеві, радіально-осьові. Типи. Основні параметри.	Цей стандарт поширюється на вертикальні гідравлічні реактивні турбіни двох систем: поворотно-лопатеві осьові турбіни – ПЛ і радіально-осьові – РВ. Стандарт встановлює зони застосування турбін по напору, типи робочих коліс, основні відносні розміри проточної частини, наведені до номінального діаметру робочого колеса, основні гідравлічні параметри гідротурбін.

Продовження таблиці 1

ГОСТ 28842-90. Турбіни гідравлічні. Методи натурних приймальних випробувань.	Цей стандарт поширюється на енергетичні гідравлічні турбіни, що акумулюють насоси і насоси-турбіни, встановлені на ГЕС і ГАЕС. Стандарт встановлює правила і методи проведення натурних приймальних випробувань для визначення потужності, витрати і ККД на сталих режимах, а також тиску і частоти обертання на перехідних режимах.
ІЕС 41-63. "Міжнародний код натурних приймально-здавальних випробувань гідравлічних турбін".	
ІЕС 607-78. "Термодинамічний метод вимірювання продуктивності (ККД) гідравлічних турбін, насосів гідроакумуючих ГЕС і турбонасосів".	
ГОСТ 4.171-85. Система показників якості продукції. Турбогенератори, гідрогенератори, синхронні компенсатори і їх системи збудження. Номенклатура показників.	Стандарт встановлює номенклатуру показників якості турбогенераторів, гідрогенераторів, синхронних компенсаторів і їх систем збудження, що включаються в ТЗ на ДКР, технічні умови, карти технічного рівня і якості продукції, що розробляються і переглядаються стандарти на продукцію, а також номенклатуру основних показників якості, що включаються в стандарти з перспективними вимогами.
ГОСТ 4.425-86. Система показників якості продукції. Турбіни гідравлічні. Номенклатура показників.	Цей стандарт встановлює номенклатуру показників якості гідравлічних турбін, що включаються в ТЗ на НДР за визначенням перспектив розвитку певної категорії, знову розробляються і переглядаються стандарти на продукцію виду, що виконують технічні умови, ТЗ на ДКР, ТУ, КУ, ГОСТ ОТТ.
ГОСТ 27807-88. Турбіни гідравлічні вертикальні. Технічні вимоги і приймання	Цей стандарт поширюється на вертикальні гідравлічні реактивні турбіни двох систем: поворотно-лопатеві осьові турбіни і радіально-осьові, призначені для приводу гідрогенераторів.

Аналіз існуючих нормативно-технічної документації показав, що на сьогоднішній день в нормативно-технічній та нормативно-методичній документації не досить повно сформульовані універсальні нормативні методи структурно-параметричного синтезу прецизійних САР гідроагрегатів, які гарантовано змогли б забезпечити високі показники точності регулювання частоти обертання і потужності.

Технологія машинобудування

Крім того в наявній документації по системам автоматичного регулювання гідравлічних турбін недостатньо повно сформульовані системні і кількісні вимоги показників, а також методи і засоби їх гарантованого технічного забезпечення [2, 19].

Для складання такої документації, необхідно виконати цикл теоретичних і експериментальних наукових досліджень, які будуть включати в себе математичне моделювання технологічного процесу і обладнання, ідентифікацію математичних моделей за результатами експериментальних досліджень, структурний і параметричний синтез прецизійних регуляторів.

Висновки

Для забезпечення високих показників точності регулювання частоти обертання і потужності гідроагрегатів ГЕС та ГАЕС необхідно в нормативно-технічній та нормативно-методичній документації сформулювати універсальні нормативні методи структурно-параметричного синтезу прецизійних САР гідроагрегатів. У наявній документації по системам автоматичного регулювання гідравлічних турбін не досить повно сформульовані системні і кількісні вимоги показників, а також методи і засоби їх гарантованого технічного забезпечення.

Для реалізації цієї задачі, необхідно виконати цикл теоретичних та експериментальних наукових досліджень. Вони включать в себе структурний і параметричний синтез прецизійних регуляторів, ідентифікацію математичних моделей за результатами експериментальних досліджень, математичне моделювання технологічного процесу і обладнання.

Список використаних джерел:

1. Шавлович З. А. Совершенствование конструкций и режимов работы гидравлических приводов в системах регулирования гидротурбин. : автореф. дис. ... канд. техн. наук. / З. А. Шавлович. – СПб., 2004.
2. Прецизійні системи автоматичного регулювання / Г. І. Канюк, О. М. Близниченко, А. Ю. Мезеря, В. С. Мельников, І. А. Бабенко // *Енергосбереження. Енергетика. Енергоаудит.* – 2014. – № 11. – С. 12-27.
3. РД 153-34.0-35.519-98. Общие технические требования к управляющим подсистемам агрегатного и стационарного уровней АСУ ТП ГЭС. – М. : СПО ОРГРЭС, 1999. – 14 с.
4. РД 153-34.2-35.520-99. Общие технические требования к программно-техническим комплексам для АСУ ТП гидроэлектростанций. – М. : СПО ОРГРЭС, 1999.
5. ГОСТ 12.2.007.0-75. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности. – М. : Изд-во стандартов, 1975. – 12 с.
6. РД 34.35.127-93. Общие технические требования к программно-техническим комплексам для АСУ ТП тепловых электростанций – М. : СПО ОРГРЭС, 1975. – 65 с.
7. РД 153-34.0-35.519-98. Общие технические требования к управляющим подсистемам агрегатного и станционного уровней АСУ ТП ГЭС – М. : СПО ОРГРЭС, 1999. – 59 с.
8. ГОСТ 12.2.003-91. Оборудование производственное. Общие требования безопасности. – М. : ФГУП Стандартинформ, 2007. – 11 с.
9. ГОСТ Р 51387-99. Энергосбережение. Нормативно-методическое обеспечение. Основные положения. – М. : ФГУП Стандартинформ, 2008. – 20 с.
10. ДБН Д.2.3-22-99. Зб. 22. Устаткування гідроелектричних станцій і гідротехнічних споруд. – Київ : ЦМДБ «Созидатель», 2000. – 74 с.
11. ГОСТ 13109-87. Электрическая энергия. Требования к качеству электрической энергии в электрических сетях общего назначения. – М. : Изд-во стандартов, 1988. – 23 с.
12. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М. : Госстандарт России, 1999. – 33 с.
13. USTE Operation Handbook [Електронний ресурс] – Policy 1: Load-Frequency Control and Performance. – 2004. – Режим доступа: https://erranet.org/wp-content/uploads/2017/02/Policy_1_final.pdf
14. Бондаренко Ю. Н. Опыт внедрения наукоемких технологий в систему управления гидроэлектростанций с целью повышения их надежности и эффективности работы в ОЭС Украины [Електронний

ресурс] / Ю. Н. Бондаренко. – Режим доступа: <http://docplayer.ru/44205243-Opyt-vnedreniya-naukoemkih-tehnologiy-v-sistemu-upravleniya-gidroelektrostanciy-s-celyu-povysheniya-ih-nadezhnosti-i-effektivnosti-raboty-v-oes-ukrainy.html>

15. Техническая эксплуатация электрических станций и сетей. Правила. [Электронный ресурс]. – Киев, 2003. – Режим доступа: <http://www.aes.pp.ua/011.php>.

16. О повышении качества первичного и вторичного регулирования частоты электрического тока в ЕЭС России [Электронный ресурс] // Российское открытое акционерное общество энергетики и электрификации "ЕЭС России". – 2009. – Режим доступа: www.enersys.ru/wp-content/uploads/2009/09/prikaz.doc.

17. РД 34.35.123. Общие технические требования к информационной подсистеме АСУ ТП ГЭС. – М. : РОСЭНЕРГО, 1992. – 5 с.

18. ГОСТ 12405-81. Регуляторы электрогидравлические для гидравлических турбин. – М. : ИПК Изд-во стандартов, 2004. – 8 с.

19. Попов М. А. Усовершенствование методов и способов обеспечения точности систем автоматического регулирования подачи воздуха в домы : дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.01.02 «стандартизация, сертификация и метрологическое обеспечение» / М. А. Попов. – Харьков, 2013.

References

1. Shavlovich, Z, 2004, 'Sovershenstvovaniye konstruksiy i rezhimov raboty gidravlicheskih privodov v sistemakh regulirovaniya gidroturbin', Kand.tekh.n. abstract, Sankt-Peterburgskiy gosudarstvennyy politekhnicheskii universitet, Sankt-Peterburg.

2. Kaniuk, H, Blyznichenko, O, Mezeria, A, Melnykov, V & Babenko, I 2014, 'Pretyziini systemy avtomatichnoho rehuliuvaniya', Energoberezhennye. Energetika. Energoaudit, no. 11, pp. 12-27.

3. *Obshchiye tekhnicheskkiye trebovaniya k upravlyayushchim podsistemam agregatnogo i stantsionnogo urovney ASU TP GES* 1998, RD 153-34.0-35.519-98, SPO ORGRES, Moskva.

4. *Obshchiye tekhnicheskkiye trebovaniya k programmno-tekhnicheskim kompleksam dlya ASU TP gidroelektrostanciy* 1999, SPO ORGRES, Moskva

5. Gosudarstvennyy komitet SSSR po standartam 1975, *Izdeliya elektrotekhnicheskkiye. Obshchiye trebovaniya bezopasnosti*, GOST 12.2.007.0-75, Izd-vo standartov, Moskva.

6. *Obshchiye tekhnicheskkiye trebovaniya k programmno-tekhnicheskim kompleksam dlya ASU TP teplovykh elektrostanciy* 1993, RD 34.35.127-93, SPO ORGRES, Moskva.

7. *Obshchiye tekhnicheskkiye trebovaniya k upravlyayushchim podsistemam agregatnogo i stantsionnogo urovney ASU TP GES* 1998, RD 153-34.0-35.519-98, SPO ORGRES, Moskva.

8. *Oborudovaniye proizvodstvennoye. Obshchiye trebovaniya bezopasnosti* 2007, GOST 12.2.003-91, FGUP Standartinform, Moskva 2007. – 11 s.

9. *Energoberezheniye. Normativno-metodicheskoye obespecheniye. Osnovnyye polozhennya* 2008, GOST R 51387-99, FGUP Standartinform, Moskva.

10. Ustatkuvannya hidroelektrychnykh stantsii i hidrotekhnichnykh sporud, Zb. 22, 2000, DBN D.2.3-22-99 TsMDB "Sozydatel", Kyiv.

11. Gosudarstvennyy komitet SSSR po standartam 1988, *Elektricheskaya energiya. Trebovaniya k kachestvu elektricheskoy energii v elektricheskikh setyakh obshchego naznacheniya*, GOST 13109-87 Izd-vo standartov Moskva.

12. *Elektricheskaya energiya. Sovmestimost tekhnicheskikh sredstv elektromagnitnaya. Normy kachestva elektricheskoy energii v sistemakh elektrosnabzheniya obshchego naznacheniya* 1997, GOST 13109-97, Gosstandart Rossii, Moskva.

13. UCTE Operation Handbook 2004, Policy 1: Load-Frequency Control and Performance. viewed 2018, <https://erranet.org/wp-content/uploads/2017/02/Policy_1_final.pdf>.

14. Bondarenko, Yu *Opyt vnedreniya naukoemkih tehnologiy v sistemu upravleniya gidroelektrostanciy s tsel'yu povysheniya ikh nadezhnosti i effektivnosti raboty v OES Ukrainy*, viewed 09 April 2018, <<http://docplayer.ru/44205243-Opyt-vnedreniya-naukoemkih-tehnologiy-v-sistemu-upravleniya-gidroelektrostanciy-s-celyu-povysheniya-ih-nadezhnosti-i-effektivnosti-raboty-v-oes-ukrainy.html>>.

15. *Tekhnicheskaya ekspluatatsiya elektricheskikh stantsiy i setey. Pravila*, viewed 09 April 2018, <<http://www.aes.pp.ua/011.php>>.

16. 'O povyshenii kachestva pervichnogo i vtorichnogo regulirovaniya chastoty elektricheskogo toka v EES Rossii', Rossiyskoe otkrytoye aktsionernoye obshchestvo energetiki i elektrifikatsii "YeYeS Rossii", viewed 09 April 2018, <www.enersys.ru/wp-content/uploads/2009/09/prikaz.doc>.

17. *Obshchiye tekhnicheskkiye trebovaniya k informatsionnoy podsisteme ASU TP GES* 1992, RD 34.35.123, ROSENERGO, Moskva.

18. *Regulyatory elektrogidravlicheskiye dlya gidravlicheskih turbin* 2004, GOST 12405-81, IPK Izd-vo standartov Moskva.

19. Popov, M 2013, 'Usovershenstvovaniye metodov i sposobov obespecheniya tochnosti sistem avtomaticheskogo regulirovaniya podachi vozdukha v domny', Kand.tekh.n. thesis, Natsionalnyi tekhnichnyi universytet "Kharkivskiy politekhnichnyi universytet" Kharkiv.

Стаття надійшла до редакції 16 квітня 2018 р.