

РЕЗУЛЬТАТИ ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ГАЗОТУРБІННОЇ УСТАНОВКИ

На базі результатів статистичної обробки даних вимірювань інформаційних сигналів отримані результати використання інформаційної технології для газотурбінної установки (ГТУ), що відображають процеси її функціонування на ПАТ "Сумське машинобудівне науково-виробниче об'єднання ім. М. В. Фрунзе", м. Суми, Україна в режимах А (робота в енергомережі) і Б (робота в автономному режимі). Використання інформаційної технології для управління програмним регулятором подачі палива визначено ефективним.

Ключові слова: газотурбінна установка, інформаційна технологія, програмне забезпечення, сигнал управління, програмний регулятор.

A.V. TOLBATOV

Sumy National Agrarian University

RESULTS OF THE USE OF INFORMATION TECHNOLOGY FOR GAS TURBINE POWER PLANT

The results of the information technology use for gas turbine power plant (GTP) have been obtained based on the statistical data of the information signals measurements. These results reflect the processes of the GTP's operations on PJSC «Sumy Frunze Machine-Building Science and Production Association», Sumy, Ukraine in the mode A (work in grid) and B (autonomous mode). The efficiency of the implemented information technology for the fuel (gas) supply software controller has been proved.

Key words: gas turbine power plant, information technology, software, control signal, software controller.

Вступ

Енергетичні системи відносять до класу складних технологічних систем. Такому ж загальному визначенню відповідають і газотурбінні установки (ГТУ). Сутність процесу функціонування ГТУ полягає у перетворенні хімічної енергії газоподібного палива в електричну енергію, що видається споживачам. З технічної точки зору ГТУ являє собою керований апаратно-програмний комплекс. Характеристиками процесу функціонування ГТУ є потужність вироблення електроенергії, надійність роботи технічних підсистем, економічні показники експлуатації та ін. [1–10].

Постановка задачі

Наведемо результати статистичної обробки даних вимірювань інформаційних сигналів, що відображають процеси функціонування газотурбінної установки (ГТУ) (установки ГТУ-16 на ПАТ "Сумське машинобудівне науково-виробниче об'єднання ім. М. В. Фрунзе", м. Суми, Україна) в режимах А (робота в енергомережі) і Б (робота в автономному режимі).

Основна частина

1. *Потужність вироблення електроенергії в режимі А.* При статистичній обробці даних вимірювань потужності роботи ГТУ в режимі А у різних кліматичних зонах, даних вимірювань температури зовнішнього повітря, які були одержані синхронно з даними вимірювань потужності, отриманий вираз довірчих інтервалів потужності роботи ГТУ в режимі А у загальному вигляді, тобто

$$A_i(T_i^O, t) - k_i \sigma_i \leq \xi_i(\omega, T_i^O, t) \leq A_i(T_i^O, t) + k_i \sigma_i, i = \overline{1, 3}, \quad (1)$$

де $A_i(T_i^O, t) = M\xi_i(\omega, T_i^O, t)$ - математичне сподівання випадкової функції $\xi_i(\omega, T_i^O, t)$ на i -му інтервалі зміни температур. Функція $A_i(T_i^O, t)$ називається трендом потужності роботи ГТУ в режимі А, а її аналітичний вираз був отриманий у вигляді лінійної апроксимації з використанням методу найменших квадратів результатів статистичної обробки даних вимірювань ансамблів однорідних реалізацій випадкової функції $\xi_i(\omega, T_i^O, t)$.

Значення $\{k_i, \sigma_i, i = \overline{1, 3}\}$ одержують також за результатами статистичної обробки даних вимірювань ансамблів однорідних реалізацій випадкової функції $\xi_i(\omega, T_i^O, t)$. Послідовність коефіцієнтів $\{k_i, i = \overline{1, 3}\}$ визначається за законом розподілу випадкової величини $\xi_1(\omega, T_\phi^O, t_\phi)$ як значення випадкової функції $\xi_i(\omega, T^O, t)$ при фіксованих аргументах температури T_ϕ^O та часу t_ϕ . Послідовність середньоквадратичних значень $\{\sigma_i, i = \overline{1, 3}\}$ визначається за результатами статистичної обробки реалізацій випадкової функції

$$\tilde{\xi}_i(\omega, T^O, t) = \xi_i(\omega, T^O, t) - M\xi_1(\omega, T^O, t) \quad (2)$$

як змінної компоненти функції після вилучення математичного сподівання – тренду. За результатами

статистичної обробки ансамблів однорідних реалізацій випадкової функції $\xi_i(\omega, T^O, t)$ отримані такі результати.

1.1. Статистично підтверджено розбиття загального інтервалу $[T_{\min}^O, T_{\max}^O] = [-40^\circ C, 40^\circ C]$ на три під інтервали:

$$\begin{aligned} i=1, \quad [T_{1\min}^O, T_{1\max}^O] &= [-40^\circ C, -18^\circ C) \\ i=2, \quad [T_{2\min}^O, T_{2\max}^O] &= [-18^\circ C, 20^\circ C) \\ i=3, \quad [T_{3\min}^O, T_{3\max}^O] &= [20^\circ C, 40^\circ C] \end{aligned} \quad (3)$$

1.2. На рис. 1 наведені графіки гістограм і відповідного графіка щільності гаусового закону розподілу випадкової величини $\xi_2(\omega, 10^\circ C, 12.30)$.

Для обґрунтування статистичної гіпотези H_0 – гаусового закону розподілу випадкової величини $\xi_i(\omega, T_{\phi}^O, t_{\phi})$ використаний статистичний критерій χ^2 (ікс-квадрат). При статистичній обробці ансамблів однорідних реалізацій проводилася ціла серія обробки відповідних статистик із метою визначення закону розподілу при фіксованих x

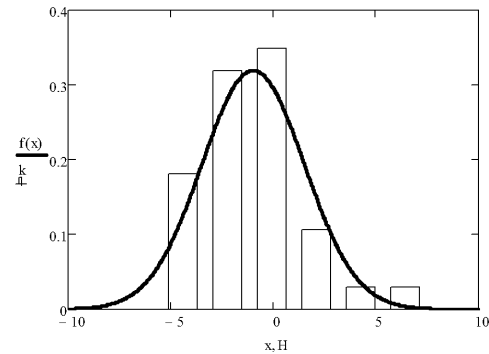


Рис. 1. Графіки гістограм і теоретичної щільності розподілу ймовірностей випадкової величини $\xi_2(\omega, 10^\circ C, 12.30)$

аргументах температури T_{ϕ}^O та часу t_{ϕ} . Результати аналізу цих серій підтвердили гаусів закон значень випадкової функції $\xi_i(\omega, T^O, t)$.

1.3. На рис. 2 наведений графік довірчого інтервалу значень випадкової функції $\xi_i(\omega, T^O, t)$ у вигляді функції температури зовнішнього повітря $T^O C$ як найбільш впливового фактора на значення потужності роботи в мегаватах (MW).

У табл. 1 зведені числові значення графіків на рис. 2, при цьому температура зовнішнього повітря $T^O(t)$ є

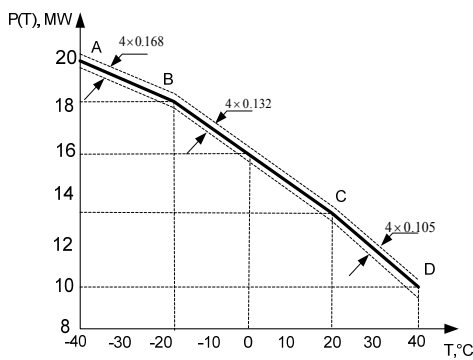


Рис. 2. Графіки довірчого інтервалу значень потужності роботи ГТУ в режимі А як функції від температури $T^O C$ зовнішнього повітря

функцією часу.

Таблиця 1

Числові значення графіків до рис. 2

№ з/п	Інтервали температур $T^O C$	Функції тренду потужності від температури $T^O(t)$, MW	Значення k_i	Значення σ_i
1	$[-40^\circ C, -18^\circ C)$	$\{20 - 0.055 \cdot [T_1^O(t) - (-40^\circ C)]\}$	2	0,168
2	$[-18^\circ C, 20^\circ C)$	$\{18.5 - 0.132 \cdot [T_2^O(t) - (-18^\circ C)]\}$	2	0,132
3	$[20^\circ C, 40^\circ C]$	$\{13 - 0.163 \cdot [T_3^O(t) - 20^\circ C]\}$	2	0,105

2. Потужність вироблення електроенергії в режимі Б. Реалізації випадкової функції потужності $\xi(\omega, T^O, t)$ роботи ГТУ в режимі Б наведені на рис. 2.

Вагові функції $\{G_i(t), i=1,2\}$ – графіки електронавантаження на добовому інтервалі часу $t \in [0, 24 \text{ години}]$ відповідно для грудня (графік а, рис. 3) і липня місяця (графік б, рис. 3) описуються виразами

$$G_1(t) = \begin{cases} 0.6, & t \in [0, 8.30) \\ 1, & t \in [8.30, 12.30) \\ 0.8, & t \in [12.30, 13.30] \end{cases}$$

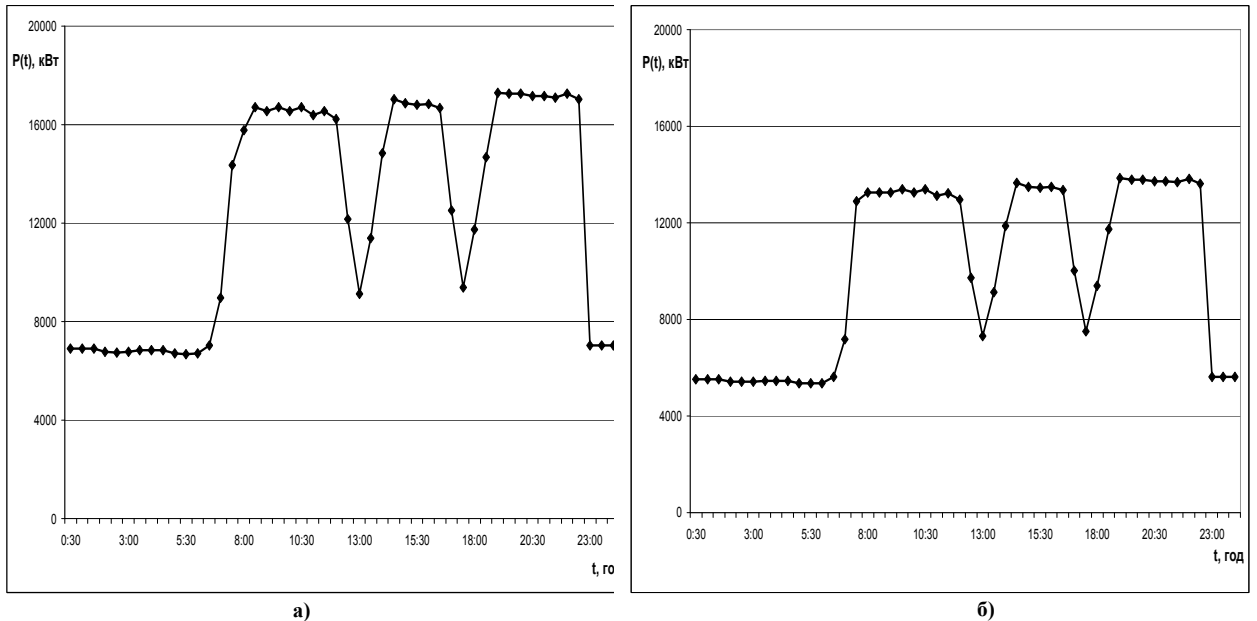


Рис. 3. Графіки реалізацій потужності процесу роботи ГТУ в режимі Б: а) грудень 2011 р.; б) липень 2012 р.

3. *Характеристики вібраційного сигналу.* Результати статистичної обробки сигналу інтенсивності вібраційного шуму механічного комплексу газотурбінний двигун–електрогенератор такі [2; 5; 6; 11; 12].

3.1. Гістограма і графік теоретичної щільності розподілу ймовірностей стаціонарного вібраційного шуму наведені на рис. 4.

3.2. Підтверджена статистична гіпотеза H_0 про стаціонарність досліджуваного вібраційного шуму з використанням критеріїв t-Стюдента і F-Фішера. Отримані такі числові дані: t-критерій=1,042; F-критерій=1,294.

3.3. Статистична оцінка кореляційної функції вібраційного шуму $\hat{R}(n)$ наведена на рис. 5.

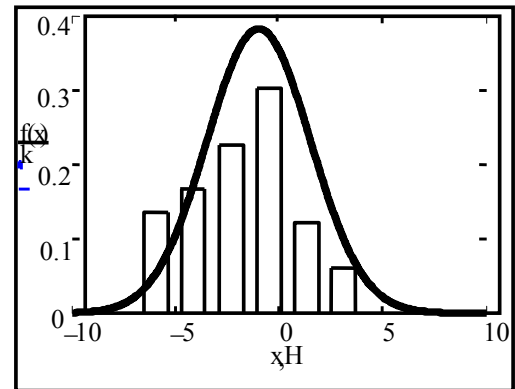


Рис. 4. Гістограма і графік теоретичної щільності розподілу ймовірностей стаціонарного вібраційного шуму

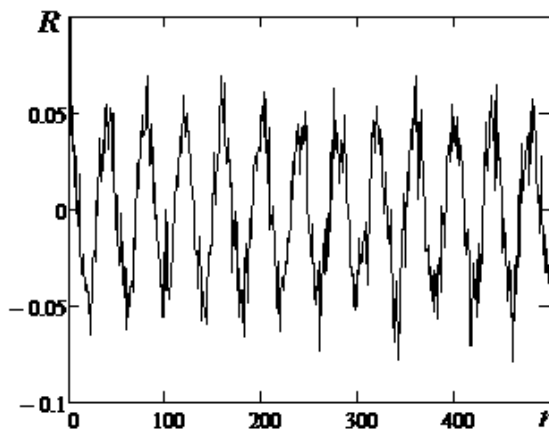


Рис. 5. Статистична оцінка кореляційної функції вібраційного шуму $\hat{R}(n)$

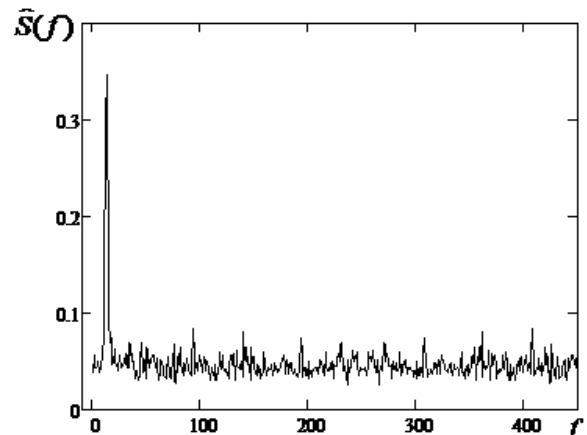


Рис. 6. Статистична оцінка спектральної щільності вібраційного шуму $\hat{S}(f)$

3.4. Статистична оцінка спектральної щільності вібраційного шуму наведена на рис. 6.

4. *Сигнал управління програмним регулятором подачі газу.* Цей сигнал реалізується у вигляді програмної корекції поточного вихідного сигналу програмного регулятора подачі газу в газову турбіну. Формування такого сигналу управління, відповідних алгоритмів та програмного забезпечення реалізується ресурсами створеної інформаційної технології. Структурна схема технічних засобів і ресурсів інформаційної технології для управління програмним регулятором подачі газу під час вироблення електроенергії на часовому інтервалі (j+1)-ї доби наведена на рис. 7.

При формуванні такого сигналу управління процесом роботи ГТУ на часовому інтервалі $t \in [0, 24 \text{ години}]$ прогнозованої (j+1)-ї доби (далі – умовно – часовий інтервал (j+1)-ї доби) використовуються прогнозовані для (j+1)-ї доби дані потужності роботи із кроком за часом $\Delta t = 0,05 \text{ с}$ для забезпечення надійної роботи програмного регулятора подачі газу. Для обчислення прогнозованих даних потужності використовуються:

- прогнозовані дані температури наступної (j+1)-ї доби;
- добові дані вимірювань однорідної реалізації процесу роботи зареєстровані в базі даних БДІВ, які відповідають прогнозованим даним температури (j+1)-ї доби (далі дані вимірювань такої реалізації умовно будемо іменувати даними вимірювань реалізації j-ї доби);
- алгоритми довірчого інтервалу вигляду (1), який відповідає прогнозованому діапазону температури зовнішнього повітря наступної (j+1)-ї доби;
- реалізація комп'ютерного моделювання стаціонарного випадкового процесу

$$\xi_j(\omega, T^0, t) = \xi_j(\omega, T^0, t) - M\xi_j(\omega, T^0, t) \quad (4)$$

як змінної компоненти моделі процесу роботи, що зареєстрована в базі реалізації комп'ютерного моделювання.

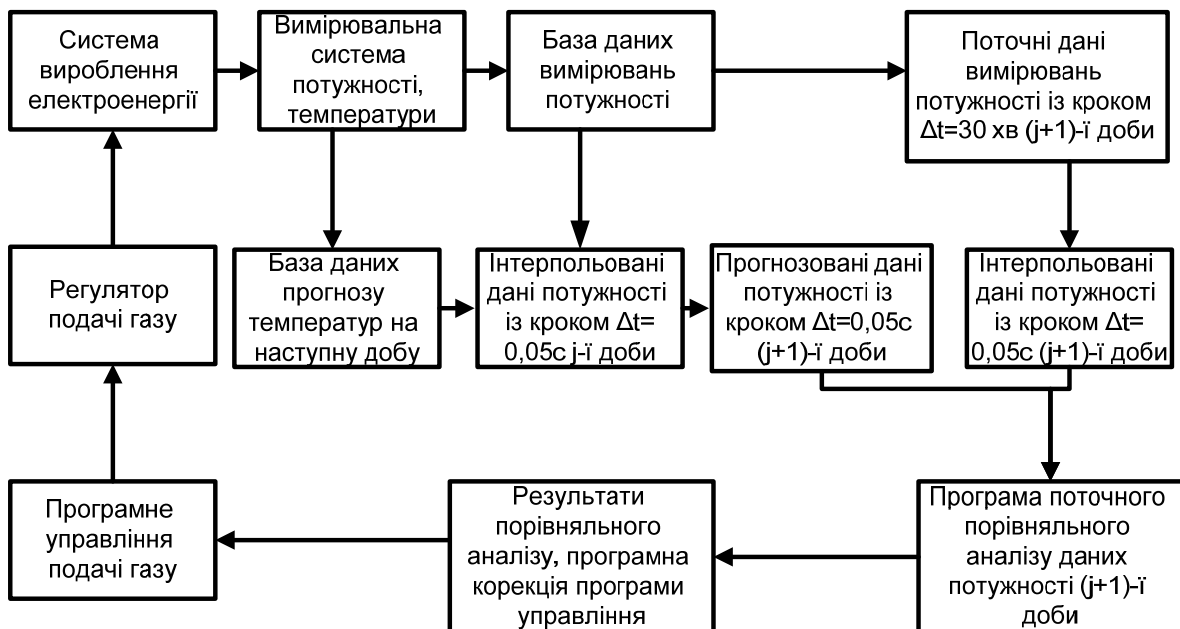


Рис. 7. Структурна схема технічних засобів і ресурсів інформаційної технології для управління програмним регулятором подачі газу під час вироблення електроенергії упродовж наступної (j+1)-ї доби

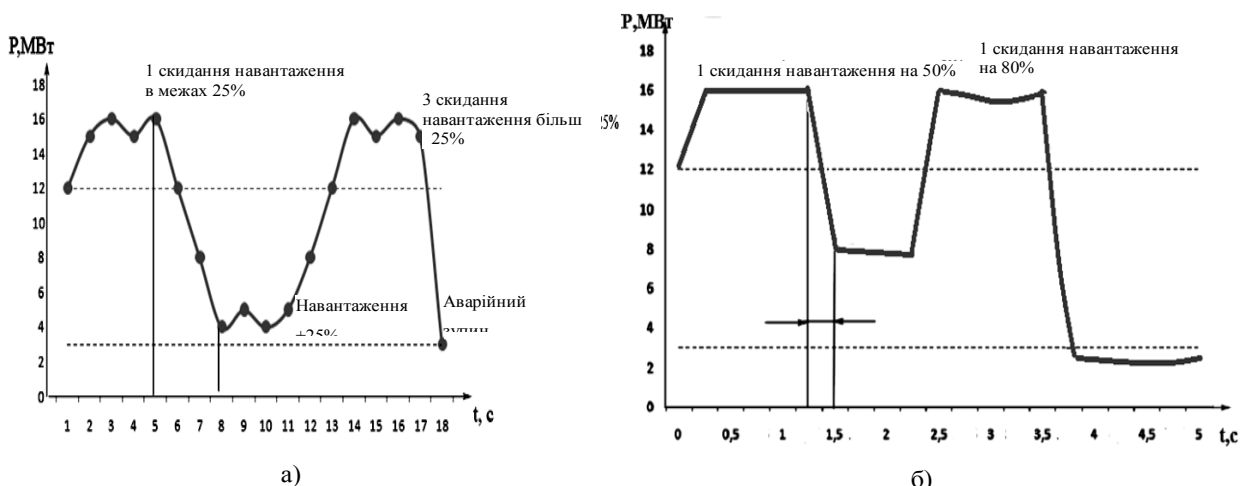


Рис. 8. Графіки роботи ГТУ з електродіагравлічним регулятором (а) та з програмним регулятором подачі газу (б)

5. *Результати використання інформаційної технології для підвищення ефективності функціонування ГТУ.* Одним із основних результатів використання інформаційної технології аналізу динаміки процесу функціонування ГТУ є удосконалення роботи програмного регулятора подачі палива. На рис. 8 наведені графіки роботи ГТУ з електрогідравлічним регулятором подачі палива: (а) - до впровадження інформаційної технології і (б) – з використанням інформаційної технології [2, 3].

Наведені графіки інтегрально показують підвищення ефективності функціонування ГТУ в режимі Б, який характеризується зміною потужності роботи у часі при використанні розробленої інформаційної технології аналізу динаміки процесів функціонування ГТУ, що містить як одну зі своїх компонент створення нового програмного регулятора подачі газу.

Враховуючи високу вартість природного газу та дефіцит електроенергії в Україні за рахунок використання на ГТУ запропанованих автором результатів газотурбінна установка матиме можливість ефективно працювати, як на звичайному паливі, так і на біогазі який є відновлювальним джерелом, а сировини для його видобутку в достатку у сільськогосподарствах.

Висновки

1. Наведено результати використання інформаційної технології, які відображають процеси функціонування ГТУ в режимах А і Б.

2. Використання інформаційної технології для управління програмним регулятором подачі палива (газу) визначено ефективним під час роботи ГТУ, особливо в режимі Б. Важливою ознакою ефективності є факт підвищення швидкодії системи автоматичного регулювання подачі палива з програмним регулятором при різних спадах енергонавантаження ГТУ порівняно з попереднім періодом використання електрогідравлічного регулятора, завдяки чому виключаються випадки аварійних відключень електрогенератора від шин електромережі споживачів.

Література

1. Толбатов А.В. Алгоритм формування сигналу управління програмним регулятором подачі палива для газотурбінної установки / А.В. Толбатов // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. Хмельницький.-2014.-№4 С.64-67.
2. Толбатов А.В. Метод моделювання сигналів контролю функціонування газотурбінної установки для розробки нових інформаційних технологій / А.В. Толбатов // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. Хмельницький.-2015.-№1 С.201-204.
3. Tolbatov A.V. Infomation technology support for the functioning of the gas turbine power / Tolbatov A.V., Pavlenko P.M. The fifth world congress "Aviation in the XXI century ". – Kyiv, 2012. – P. 1.8.35 – 1.8.37.
4. Дубовой В. М. Використання методу оцінювання в задачах інваріантного управління / В. М. Дубовой, Т. О. Голубева // Вісник ВПП. –2007. – № 1. – С. 5–9.
5. Марченко Н. Б. Статистичний аналіз процесу вироблення електроенергії газотурбінними електростанціями / Н. Б. Марченко, А. В. Толбатов, Т. Л. Щербак // Електроніка та системи управління. – К. : НАУ, 2012. – № 2. – С. 130–137.
6. Марченко Н. Б. Статистичний аналіз процесу вироблення електроенергії автономними газотурбінними електростанціями / Н. Б. Марченко, А. В. Толбатов, Т. Л. Щербак // Моделювання та інформаційні технології : зб. наук. праць / ПІМЕ НАН України. – К. : ПІМЕ НАН України, 2012. – Вип. 64. – С. 14–21.
7. Толбатов А. В. Елементи інформаційної технології обробки даних при функціонуванні газотурбінної електростанції / А. В. Толбатов, В. А. Толбатов, В.Д. Черв'яков // XI Міжнародна конференція Контроль і управління в складних системах (КУСС–2012). – Вінниця : ВНТУ, 2012. – С. 109–110.
8. Толбатов А. В. Інформаційний моніторинг газотурбінних електростанцій / А. В. Толбатов // IX Міжнародна науково-технічна конференція "ABIA-2009". – К. : НАУ, 2009. – С. 3.70–3.72.
9. Толбатов А. В. Формування сигналу управління регулятором подачі газу за даними вимірювання потужності вироблення електроенергії / А. В. Толбатов // Матеріали та програма науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів факультету електроніки та інформаційних технологій. – Суми : Вид-во СумДУ, 2010. – С. 48.
10. Толбатов А. В. Задачи анализа функционирования автоматизированной системы управления технологическим процессом / А. В. Толбатов // Тези науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів фізико-технічного факультету. – Суми : СумДУ, 2003. – С. 53–55.
11. Дубовой В. М. Моделі прийняття рішень в управлінні розподіленими динамічними системами : монографія / В. М. Дубовой, О. О. Ковалюк. – Вінниця : Універсум-Вінниця, 2008. – 185 с.
12. Дубовой В. М. Оптимізація підсистем збору даних АСУТП в умовах комбінованої невизначеності : монографія / В. М. Дубовой, О. Д. Никитенко. – Вінниця : Універсум-Вінниця, 2011. – 169 с.

References

1. Tolbatov A.V. Algorytm formuvannya sygnalu upravlinnya programny'm regulyatorom podachi palyva dlya gazoturbinnoyi ustanovky / A.V. Tolbatov // Vy'miryuval'na ta obchy'slyuval'na texnika v texnologichny'x procesax. Xmel'ny'cz'ky'.-2014.-#4 S.64-67.
2. Tolbatov A.V. Metod modelyuvannya sygnaliv kontrolyu funkcionuvannya gazoturbinnoyi ustanovky dlya rozrobky novy'x informacijny'x texnologij / A.V. Tolbatov // Vy'miryuval'na ta obchy'slyuval'na texnika v texnologichny'x procesax. Xmel'ny'cz'ky'.-2015.-#1 S.201-204.
3. Tolbatov A.V. Infomation technology support for the functioning of the gas turbine power / Tolbatov A.V., Pavlenko P.M. The fifth world congress "Aviation in the XXI century". – Kyiv, 2012. – P. 1.8.35 – 1.8.37.
4. Dubovoj V. M. Vy'kory'stannya metodu ocynyuvannya v zadachax invariantnogo upravlinnya / V. M. Dubovoj, T. O. Golubyeva // Visnyk VPI. –2007. – # 1. – S. 5–9.
5. Marchenko N. B. Staty'stychny'j analiz procesu vy'roblennya elektroenergiyi gazoturbiny'my' elektrostanciyamy' / N. B. Marchenko, A. V. Tolbatov, T. L. Shherbak // Elektronika ta sy'stemy' upravlinnya. – K. : NAU, 2012. – # 2. – S. 130–137.
6. Marchenko N. B. Staty'stychny'j analiz procesu vy'roblennya elektroenergiyi avtonomny'my' gazoturbiny'my' elektrostanciyamy' / N. B. Marchenko, A. V. Tolbatov, T. L. Shherbak // Modelyuvannya ta informacijni texnologiyi : zb. nauk. pracz' / IPME NAN Ukrayiny'. – K. : IPME NAN Ukrayiny', 2012. – Vy'p. 64. – S. 14–21.
7. Tolbatov A. V. Elementy' informacijnoyi texnologiyi obrobky' dany'x pry' funkcionuvanni gazoturbinnoyi elektrostanciyi / A. V. Tolbatov, V. A. Tolbatov, V.D. Cherv'yakov // XI Mizhnarodna konferenciya Kontrol' i upravlinnya v skladny'x sy'stemax (KUSS–2012). – Vinny'cya : VNTU, 2012. – S. 109–110.
8. Tolbatov A. V. Informacijny'j monitoryng gazoturbiny'x elektrostancij / A. V. Tolbatov // IX Mizhnarodna nauково-texnichna konferenciya "AVIA-2009". – K. : NAU, 2009. – S. 3.70–3.72.
9. Tolbatov A. V. Formuvannya sygnalu upravlinnya regulyatorom podachi gazu za dany'my' vy'miryuvannya potuzhnosti vy'roblennya elektroenergiyi / A. V. Tolbatov // Materialy' ta programa nauково-texnichnoyi konferenciyi vy'kladachiv, spivrobitny'kiv, aspirantiv i studentiv fakul'tetu elektroniky' ta informacijny'x texnologij. – Sumy' : Vy'd-vo SumDU, 2010. – S. 48.
10. Tolbatov A. V. Zadachy' analy'za funkcy'ony'rovany'ya avtomaty'zy'rovannoji sy'stemy' upravleny'ya texnologychesky'm processom / A. V. Tolbatov // Tezy' nauково-texnichnoyi konferenciyi vy'kladachiv, spivrobitny'kiv, aspirantiv i studentiv fizy'ko-texnichnogo fakul'tetu. – Sumy' : SumDU, 2003. – S. 53–55.
11. Dubovoj V. M. Modeli pry'jnyattya rishen' v upravlinni rozpodileny'my' dy'namichny'my' sy'stemamy' : monografiya / V. M. Dubovoj, O. O. Kovalyuk. – Vinny'cya : Universum-Vinny'cya, 2008. – 185 s.
12. Dubovoj V. M. Opty'mizaciya pidsy'stem zboru dany'x ASUTP v umovax kombinovanoyi nevy'znachenosti : monografiya / V. M. Dubovoj, O. D. Ny'ky'tenko. – Vinny'cya : Universum-Vinny'cya, 2011. – 169 c.

Рецензія/Peer review : 3.5.2015 р. Надрукована/Printed : 21.6.2015 р.

Стаття рецензована редакційною колегією