УДК 621.9 - 192 : 517.938 : 004

А.В. ТОЛБАТОВ
Сумський національний аграрний університет

АЛГОРИТМ ФОРМУВАННЯ СИГНАЛУ УПРАВЛІННЯ ПРОГРАМНИМ РЕГУЛЯТОРОМ ПОДАЧІ ПАЛИВА ДЛЯ ГАЗОТУРБІННОЇ УСТАНОВКИ

Проведено розробку алгоритму формування сигналу управління програмним регулятором подачі палива газотурбінної установки (ГТУ). Отримані результати використання базових положень методу моделювання сигналів контролю процесів функціонування ГТУ використовувалися для вирішення задачі формування сигналу управління програмним регулятором подачі палива (газу) за експериментальними даними вимірювання потужності роботи ГТУ і температури зовнішнього повітря. Вирішена задача формування алгоритму сигналу управління програмним регулятором подачі газу для ГТУ.

Ключові слова: газатурбінна установка, інформаційна технологія, інформаційне забезпечення, інформаційний сигнал, сигнал управління, програмний регулятор, система масового обслуговування.

A.V. TOLBATOV
Sumy National Agrarian University

THE ALGORITHM OF THE CONTROL SIGNAL FORMATION OF THE SOFTWARE CONTROLLER FOR GAS TURBINE POWER PLANT FUEL SUPPLY

The algorithm of the control signal formation of the software controller for gas turbine power plant (GTP) fuel supply has been developed. The results of the GTP operations control signals modeling have been used to form control signal of the fuel (gas) supply software controller based on the experimental data of the GTP capacity and outside temperature. The issue of the algorithm forming has been resolved within this paper work.

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

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.

Постановка задачі

Ряд складних технічних систем, до яких відносять ГТУ, при дослідженні їх роботи розглядають як системи масового обслуговування (СМО). Спочатку розглянемо загальні властивості ГТУ як СМО, базуючись на результатах аналізу наукових публікацій, у тому числі [1–3]. Структура СМО передбачає інформаційне забезпечення, до якого належать, у першу чергу, завдання потоку прийнятих вимог (заявок), кількість каналів обслуговування, інформаційна технологія обслуговування вимог. Потік вимог характеризується випадковими моментами їх надходження в систему то описується відповідними випадковими процесами. Таким чином, ГТУ має на вході потік вимог, а на виході – потік обслуговування. Спрощену схему функціонування такої СМО проілюстровано на рис. 1.

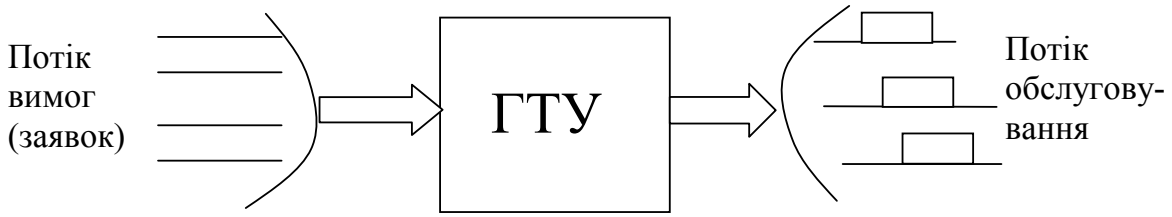

Рис. 1. Процес функціонування газотурбінної установки як системи масового обслуговування

Дослідження ГТУ як об’єкта класу СМО можливе у двох варіантах процесів функціонування [4–6], які зазначимо як режими А і Б:

1. *Режим А*. Функціонування ГТУ як одного з джерел електроенергії в єдиній енергосистемі. У такому режимі ГТУ, як джерело малої потужності, працює з постійною в часі потужністю, при цьому потік вимог задовольняється без часової затримки. У цьому варіанті електростанція може містити декілька газотурбінних установок, що паралельно працюють.

2. *Режим Б*. Функціонування ГТУ як автономного джерела електроенергії. У такому режимі потужність роботи ГТУ є змінною в часі відповідно до потоку заяв споживачів. У цьому варіанті ГТУ є автономною установкою зі змінним режимом навантаження для забезпечення електроенергією підприємств та житлових комплексів невеликих міст і селищ.

Аналіз досліджень та публікацій

Інформаційний сигнал управління регулятором подачі палива (у т.ч. біогазу) є одним з основних сигналів для забезпечення функціонування ГТУ в заданому режимі, що формується в результаті

порівняльного аналізу поточних у часі реальних даних вимірювань потужності роботи ГТУ із заданим згідно з режимом графіком її вироблення.

Наведемо результати використання базових положень методу моделювання сигналів контролю процесів функціонування ГТУ для вирішення задачі формування сигналу управління програмним регулятором подачі газу за експериментальними даними вимірювання потужності $P(t)$ роботи ГТУ і температури T^OC зовнішнього повітря.

Відомо, що програмний регулятор подачі газу є одним із основних модулів автоматизованої системи управління функціонування ГТУ. У теорії автоматичного управління аналізу роботи такого регулятора присвячена значна кількість науково-технічних робіт, в тому числі [7–9].

У загальній постановці сигнал управління програмним регулятором визначається виразом

$$\Delta U(t) = U_B(t) - U_y(t), \tag{1}$$

де $U_B(t)$ – сигнал, отриманий вимірювальними засобами, а $U_y(t)$ – сигнал, заданий програмою функціонування досліджуваної системи.

Основною задачею системи управління, переважно це автоматизована система управління, є забезпечення мінімального значення $\Delta U(t)$. У зв'язку з використанням комп'ютерів у сучасних системах рівняння (1) досліджується не для неперервного часу, а для дискретного. Реалізація цієї ідеї здійснюється досить складно, що обумовлено таким:

- дані вимірювань потужності роботи ГТУ утворюють послідовність $P(t_j)$, яка задана на дискретній гратці часу з кроком Δt = 30 хвилин, тобто оновлення інформації про зміни динаміки потужності відбувається через кожні 30 хвилин;
- функціонально потужність роботи ГТУ описується випадковою функцією трьох аргументів $\xi\left(\omega, t, T^O\right)$, де ω – випадкова подія, що враховує випадковість дії усіх факторів; t – поточний час, T^O – температура зовнішнього повітря;
- зміна режимів роботи ГТУ, яка виникла в ході експлуатації ГТУ, а саме необхідність поряд із традиційним режимом постійної потужності роботи (режим А) використання ГТУ в новому режимі – роботи ГТУ зі змінним графіком потужності (режим Б).

Така зміна режимів роботи ГТУ призвела до неефективного функціонування ГТУ, особливо в режимі Б. При зміні потужності роботи (зменшення або збільшення), що перевищувала 40 %, відбувались аварійні зупинки ГТУ. Аналіз таких зупинок показав, що основною причиною є інерційна (з малою швидкодією) робота гідравлічного регулятора подачі газу. Тому було прийнято рішення про розробку нового програмного регулятора подачі газу з підвищеною швидкодією. Проведені дослідження дали можливість обґрунтувати часовий темп оновлення інформації з кроком $\Delta t = 0,05$ с при формуванні сигналу управління програмним регулятором подачі газу.

Сигнал управління програмним регулятором подачі газу ГТУ формується з використанням поточної різниці двох сигналів вигляду (1), тобто

$$\Delta P_{yn}(t_{j,k}, T_k^O) = P_{Bn}\left(t_{j,k}, T_k^O\right) - P_{pn}(t_{j,k}, T_{pk}^O), \tag{2}$$

де $\Delta P_y(t_{j,k}, T_k^O)$ – прирости потужності роботи ГТУ в миттєві моменти часу $t_{j,k}$ на часовому інтервалі управління $\left[0, n\mathrm{T}_0\right]$, добовий період T_0 = 24 години = 1440 хвилин = 86400 с, n – число діб роботи ГТУ, $j = \overline{1,48}$ – число вимірювань потужності роботи за добу, $k = \overline{0,36000}$ – число інтерпольованих значень потужності роботи ГТУ з кроком дискретизації за часом Δt_k = 0,05 с на j-му кроці вимірювань потужності роботи $P_B\left(t_{j,k}, T_k^0\right)$ при дискретизації Δt_j =30 хв, $P_{pn}\left(t_{j,k}, T_k^0\right)$ – прогнозована послідовність значень потужності роботи ГТУ; T_k^O – температура вимірювань зовнішнього повітря на k-му часовому кроці інтерполяції t_k, а T_{pk}^O – відповідна прогнозована температура.

Ці послідовності задані на рівномірній часовій гратці $\Delta t, 2\Delta t, ..., m\Delta t$, $m >> n$, де Δt – крок дискретизації часового інтервалу управління роботою ГТУ. Раніше відмічалося, що при функціонуванні ГТУ значення послідовності $\left\{P_B(t_j), j = 1,2,...\right\}$ вимірюються з кроком Δt = 30 хвилин. Такий крок Δt не дає можливості сформувати сигнал управління програмним регулятором подачі газу для ефективного функціонування ГТУ.

Задача формування алгоритму сигналу управління програмним регулятором подачі газу вирішена так:

1. У результаті виконаних досліджень, включаючи експериментальні, було обґрунтовано значення кроку дискретизації Δt =0,05 с при формуванні сигналу управління програмним регулятором подачі газу.

2. Для формування приростів $\Delta P_y(t_j)$ за формулою (2) сигналу управління необхідно сформувати дві послідовності:

- $P_{Bn}\left(t_{j,k}, T_k^0\right)$ - послідовність інтерпольованих поточних даних вимірювань потужності роботи ГТУ;

- $P_{pn}\left(t_{j,k}, T_k^0\right)$ - послідовність прогнозованих значень потужності роботи ГТУ, заданих по часовій гратці із кроком дискретизації за часом Δt =0,05 с для кожної *n*-ої доби роботи ГТУ.

2.1. Для формування послідовності $\left\{P_B\left(t_{j,k}\right)\right\}$ використовується наступний алгоритм лінійної інтерполяції:

$$P_{Bn}\left(t_{j,k}\right) = P_{Bn}\left(t_{j,0}\right) - k\left|\frac{\mathcal{P}_n(t_j) - \mathcal{P}_n(t_{j+1})}{36000}\right|, j = \overline{1,48}, k = \overline{0,36000}, \quad (3)$$

де $\mathcal{P}_n(t_j)$ - поточні дані вимірювань потужності роботи ГТУ на n–добовому інтервалі часу із кроком дискретизації за часом Δt_j = 30 хв = 1800 с = =1800000 мс; $P_B\left(t_{j,k}\right)$ - відповідне інтерпольоване значення поточного значення вимірюваної потужності роботи ГТУ на часовому інтервалі вимірювань $\left[t_j, t_{j+1}\right]$ = 30 хвилин із відповідним кроком інтерполяції Δt_k = =0,05 с = 50 мс.

2.2. Для формування $\left\{P_{pn}\left(t_{j,k}, T_k^o\right), k = \overline{0,36000}\right\}$ - послідовності прогнозованих даних потужності роботи ГТУ – використані такі дані:

- послідовність статистичних оцінок математичного сподівання потужності роботи ГТУ як випадкової функції від температури зовнішнього середовища T^oC вигляду $\xi\left(\omega, T^o\right)$ при фіксованих значеннях T^oC в інтервалі температур $T^oC \in \left[-40^o, 40^o\right]$, отриманих за результатами статистичної обробки експериментальних даних вимірювань потужності роботи для конкретної ГТУ, отриманих при експлуатації;
- послідовності значень прогнозованої температури зовнішнього повітря T^oC на *n*-му добовому інтервалі $T_n^o(t_k)$, отриманої за даними добового прогнозу температури від метеорологічних служб, а також з урахуванням динаміки зміни температури попередньої (*n*-1)-ї доби, що поряд із даними вимірювань температури занесені у відповідну базу даних з кроком дискретизації за часом Δt_j = 30 хвилин.

Таким чином, послідовність

$$P_{pn}\left(t_{j,k}, T_k^o\right) \Rightarrow \left[\mathbf{M}\{\xi(\omega, T^o)\}, T_{n-1}^o(t_k), T_n^o(t_k)\right] \quad (4)$$

формується шляхом відображення функції $T_n^o(t_k)$ на послідовність $\mathbf{M}\left\{\xi\left(\omega, T^o\right)\right\}$ при фіксованих значеннях T^oC. Для реалізації такого відображення розроблений алгоритм, структура якого наведена на рис. 2.

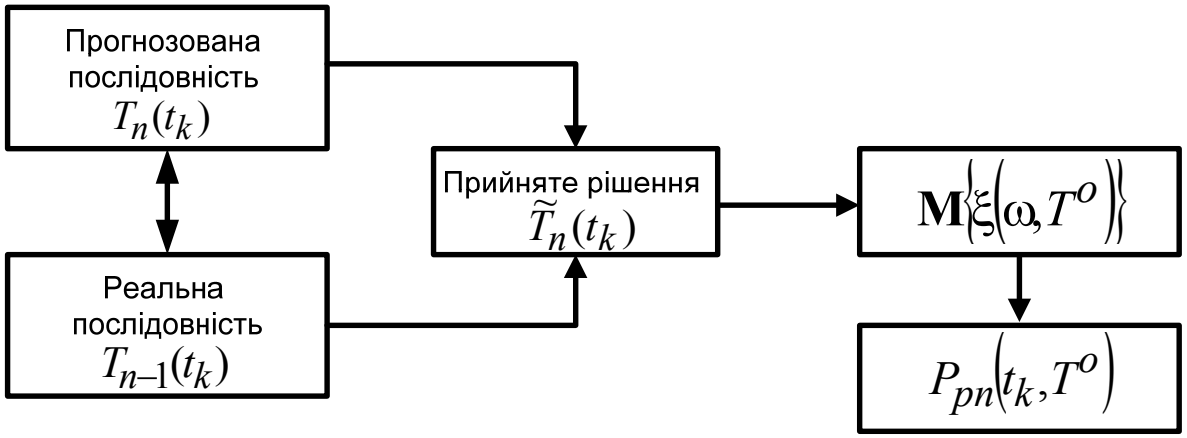

Рис. 2. Структура алгоритму формування добового прогнозу потужності роботи ГТУ

Таким чином, формування сигналу управління програмним регулятором подачі газу проводиться у два послідовні етапи:

- визначається послідовність потужності роботи ГТУ на *n*-й добі функціонування

$$P_{yn}\left(t_{j,k},T^{O}\right)=M\left\{\xi\left(\omega,t_{j,k},T^{O}\right)+\Delta P_{yn}\left(t_{j,k},T^{O}\right)\right\}; \quad (5)$$

- на базі використання табульованих таблиць, які адаптовані до кожної конкретної ГТУ, обчислюється маса газу для забезпечення заданої потужності роботи:

$$P_{yn}\left(t_{j,k},T^{O}\right)\Rightarrow Q_{yn}\left(t_{j,k},T^{O}\right). \quad (6)$$

Враховуючи високу вартість природнього газу та дефіцит електроенергії в Україні при впровадженні на діючий ГТУ запропанованого автором алгоритму формування сигналу управління програмним регулятором подачі палива газотурбінна установка матиме можливість працювати на біогазі який є відновлювальним ждерелом, а сировини для його видобутку вдосталь у сісьгоспгосподарствах.

Висновки

Зазначена послідовність операцій роботи програмного регулятора подачі газу реалізована відповідним програмним забезпеченням, що дало можливість забезпечити ефективну роботу ГТУ як у режимі А, так і в режимі Б.

Результати розробки моделей потужності роботи ГТУ в режимах А і Б, використання їх під час створення алгоритмів формування сигналу управління програмним регулятором подачі газу підтверджують обґрунтованість методу моделювання таких сигналів.

Література

1. Гнеденко Б. В. Введение в теорию массового обслуживания / Б. В. Гнеденко, И. Н. Коваленко. – М. : Наука, 1973. – 398 с.

2. Хинчин А. Я. Работы по математической теории массового обслуживания / А. Я. Хинчин. – М. : Физматгиз, 1963. – 236 с.

3. Гордеев В. И. Расчеты электропотребления с применением теории массового обслуживания / В. И. Гордеев, Э. И. Славенко // Электричество. – 1987. – № 5. – С. 31–35.

4. 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.

5. 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 / ІПМЕ НАН України. – К. : ІПМЕ НАН України, 2012. – Вип. 64. – С. 14–21.

6. Толбатов А. В. Передумови створення інтегрованого інформаційного середовища для промислових підприємств / А. В. Толбатов, В. А. Толбатов, С.В. Толбатов // Матеріали та програма науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів факультету електроніки та інформаційних технологій. – Суми : Вид-во СумДУ, 2010. – С. 42–43.

7. Толбатов А. В. Інформаційний моніторинг газотурбінних електростанцій / А. В. Толбатов // IX Міжнародна науково-технічна конференція “АВІА-2009”. – К. : НАУ, 2009. – С. 3.70–3.72.

8. 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.

9. 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.

References

1. Gnedenko B.V. Introduction to queuing theory / B.V. Gnedenko, I.N. Kovalenko. – M. : Science, 1973. – 398 p.

2. Hinchin A.Y. Work on the mathematical theory of queuing / A.Y. Hinchin. – M. : Physics and Mathematics, 1963. – 236 p.

3. Gordeev V.I. Calculations of power consumption using queuing theory / V.I. Gordeev, E.I. Slavenko // Electricity. – 1987. – № 5. – p. 31–35.

4. Marchenko N.B. Statistical analysis of power generation by gas turbine power plants. N.B. Marchenko, A.V. Tolbatov, T.L. Scherbak // Electronics and control systems. – K. : NAU, 2012. – № 2. – p. 130–137.

5. Marchenko N.B. Statistical analysis of power generation by autonomous gas turbine power plants. N.B. Marchenko, A.V. Tolbatov, T.L. Scherbak // Modeling and information technologies: scientific paper works / NAS Ukraine – K. : NAS Ukraine, 2012, Issue 64. – p. 14–21.

6. Tolbatov A.V. Background of integrated information environment development for industry // A.V. Tolbatov, V.A. Tolbatov, S.V. Tolbatov. // Materials and application of scientific and technical conference, staff and students of the Faculty of Electronics and Information Technology. – Sumy, Sumy State University, 2010. – p. 42–43.

7. Tolbatov A.V. Informational monitoring of the gas turbine power plants / A.V. Tolbatov // IX scientific and technical conference ‘AVIA-2009’. – K, NAU, 2009. – p. 3.70–3.72.

8. Tolbatov A.V. Control signal formation of the software controller fuel supply based on the produced electricity capacity / A.V. Tolbatov // Materials and application of scientific and technical conference, staff and students of the Faculty of Electronics and Information Technology. – Sumy, Sumy State University, 2010. – p. 48.

9. Tolbatov A.V. Analysis of the functioning of the automated process control system / A.V. Tolbatov // Theses of scientific and technical conference, staff and students of the Physics and Engineering Faculty. – Sumy, Sumy State University, 2003. – p. 53-55.

Рецензія/Peer review : 3.12.2014 р. Надрукована/Printed :29.12.2014 р.