

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИРОБЛЕННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ГАЗОТУРБІННИМИ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯМИ

Проведені дослідження, пов'язані з розробкою стохастичної моделі ритмічного вироблення енергії електростанції. Моделювання базується на використанні конструктивного методу завдання лінійного випадкового процесу. Створена модель є нестационарною і враховує випадковий характер включення в часі джерел вироблення електроенергії, а також ритмічність з періодом 24 години.

Ключові слова: вироблення електроенергії, газотурбінна електростанція, стохастична модель.

A. V. TOLBATOV, G. A. SMOLYAROV

Sumy National Agrarian University

V. A. TOLBATOV

Sumy state university

SIMULATION OF ELECTRICITY GENERATION ON GAS TURBINE POWER PLANT

The research of stochastic model of rhythmic energy production plants has been conducted. Modeling approach is based on the use of constructive method of linear random process. The model has nonstationary random nature and takes into account the inclusion of time sources of electricity generation and rhythm with a period of 24 hours.

Keywords: power generation, gas turbine power plant, stochastic model.

Актуальною задачею досліджень функціонування газотурбінної електростанції (ГТЕ) є розробка математичної моделі процесу вироблення електроенергії. В силу дії різного роду не випадкових і випадкових факторів формування процесу вироблення електроенергії обґрунтування такої моделі базується на: постановці задач досліджень; розробці методології побудови моделі; конкретних умовах і факторах формування процесу вироблення електроенергії.

Питанням побудови моделі процесу вироблення електроенергії присвячено ряд публікацій, в тому числі [1 – 21]. Результати цих робіт умовно розділяють на дві групи: детерміновані і стохастичні моделі. Але якщо використовувати загальний підхід до створення моделі вироблення електроенергії і вважати, що детермінована модель є частинним випадком стохастичної, то необхідності у такому розділенні моделей не виникає.

Коротко зупинимось на основних факторах формування процесу вироблення електроенергії і розглянемо функціональну схему конкретної електростанції ГТЕ–16.

Циклічність роботи електростанції з часовим циклом 24 години обумовлена циклічним обертанням нашої планети. Значення циклу 24 години підтверджена значною кількістю спостережень і результатами практичних вимірювань характеристик роботи електростанцій та енергетичних мереж [1 – 10]. Так, наприклад, загальними характеристиками електростанцій є мінімальні і максимальні значення струмів, часові інтервали їх змін та їх тривалість. Самі значення таких характеристик при різних циклах не співпадають і це пояснюється випадковою природою їх формування. Під терміном “стохастична періодичність”, як правило, розуміють властивість того чи іншого досліджуваного об'єкту, яку характеризують як “повторюваність у середньому” або “повторюваність у статистичному сенсі”.

Випадковість або стохастичність формування процесу вироблення електроенергії обумовлюється дією значної кількості випадкових факторів, а саме: включення та виключення джерел вироблення електроенергії у різні моменти часу, з різними тривалістю по часу, інтенсивністю, а також різної їх кількості.

Таким чином, під процесом вироблення електроенергії – динамічним виробленням електроенергії електростанції – розуміється функціональна залежність по часу виробленої електроенергії (струму, потужності), обумовленого не випадковими і випадковими включеннями та виключеннями значної кількості джерел формування енергії. В цьому випадку електростанція або енергомережа розглядається як система масового обслуговування.

Зупинимось на означенні моделі процесу вироблення електроенергії. Математична модель процесу вироблення електроенергії є сукупність знань, припущень та гіпотез, побудованих у вигляді цілісної, логічно витриманої несуперечливої структури, яка гомоморфно відображає основні властивості вироблення електроенергії, в тому числі стохастичність і циклічність, сформульована з використанням математичних об'єктів, термінів, символів і призначена для розв'язання певного класу задач [1 – 21].

Математична модель процесу вироблення електроенергії, як самостійний об'єкт, має область використання, множину задач досліджень і проходить певні етапи свого становлення. Умовно можна виділити наступні етапи такого становлення [1 – 13]: аналіз апріорних даних про вироблення енергії електростанцій, енергомереж, основних їх властивостей та динаміки у часі, запис моделі як гомоморфного відображення результатів аналізу з використанням математичних об'єктів, термінів та символів; формування області використання запропонованої моделі, множини задач досліджень і визначення основних методів розв'язку задач; проведення теоретичних, імітаційних досліджень, натурального експерименту з використанням запропонованої моделі для вирішення актуальних науково-технічних проблем у різних галузях науки і техніки; узгодження результатів проведення досліджень на базі використання запропонованої моделі з сучасними вимогами розвитку науки і техніки, в тому числі

точносними характеристиками, обґрунтування нових фактів та явищ в енергонавантажених, динаміці процесів керування електростанціями, енергомережами і прийняття рішення одного з трьох можливих варіантів: а) подальше використання запропонованої моделі; б) удосконалення моделі, наприклад, введення нових параметрів, обґрунтування нових меж їх змін, динаміки та інше; в) розробка нової моделі.

Далі для математичної моделі процесу вироблення електроенергії буде використовуватись назва “стохастична ритмічна” і таку назву можна обґрунтувати так.

Для побудови моделі використовується конструктивний метод побудови випадкових функцій – метод стохастичних інтегральних зображень випадкових функцій [3, 13, 19]. Широке застосування цього методу у порівнянні з іншими методами обумовлено наступним:

- метод є подальшим розвитком і узагальненням таких відомих методів як методи білого шуму, формуючих фільтрів, породжуючого процесу, канонічних уявлень, які мають фізичну інтерпретацію формування значної кількості випадкових функцій;

- на основі цього методу побудований клас лінійних випадкових функцій, у загальному випадку неоднорідних по просторовим координатам, нестационарних по часу і негауссівських по законам розподілу, а стаціонарні, періодичні, гауссівські, пуассонівські та інші випадкові функції є або їх вкладеними компонентами або, просто частинними випадками;

- для лінійних випадкових функцій отримано повний у ймовірнісному сенсі опис у вигляді багатовимірної характеристичної функції, що дає можливість проводити аналіз лінійних випадкових функцій як у рамках кореляційної теорії, так і з урахуванням моментних функцій вищих порядків;

- клас лінійних випадкових функцій є замкнутим; при лінійних перетвореннях вони залишаються у класі лінійних, при цьому значна кількість характеристик лінійних випадкових функцій визначається відповідними інтегральними співвідношеннями детермінованих функцій;

- нелінійні перетворення лінійних випадкових функцій, як правило, аналізуються у рамках кореляційної теорії, при цьому побудована система стохастичних ортогональних функціоналів, аналогічних системі вінеровських стохастичних функціоналів, але для більш загального випадку;

- з інтегрального уявлення лінійних випадкових функцій слідує в явній формі алгоритм моделювання на ЕОМ (ПЕОМ) їх реалізації з різними законами розподілу і відповідними параметрами;

- взявши за основу конструктивне завдання лінійного процесу, можна будувати різні варіанти її моделі шляхом вибору видів ядра і породжуючої функції інтегрального зображення лінійного випадкового процесу.

Назва моделі “ритмічна” пов’язана з тим, що енергонавантаження породжені первинним циклом з часовою тривалістю =24 години, тобто спочатку є цикл, який породжує відповідну ритмічність.

Відмітимо, що значне число математичних моделей енергетичних процесів використовується як адитивна суміш (сума) так названого «тренда» і випадкового, у більшості випадків, стаціонарного процесу. У загальному випадку така модель як відповідне рівняння має:

один розв’язок, якщо задана права частина, тобто заданий тренд і випадковий процес;

нескінченне число розв’язків, якщо задана ліва частина – досліджуємий процес, – а дві компоненти правої сторони рівняння не задані.

Значна кількість статистичних задач дослідження енергетичних процесів існує лише між цими двома крайніми розв’язками такого умовного рівняння.

У даному дослідженні математична модель описується одним випадковим процесом – лінійним періодичним процесом, а його математичне сподівання може бути використане як тренд.

Розглянемо модель лінійного випадкового процесу, а далі його частинний випадок – лінійний періодичний процес як модель процесу вироблення електроенергії ГТЕ.

Перейдемо до опису моделі процесу вироблення електроенергії.

Стохастична модель ритмічного вироблення енергії електростанції. Грунтуючись на суті методу стохастично інтегральних представлень, спочатку розглянемо граничну модель процесу, що має фізичну інтерпретацію. Будемо виходити з того факту, що вона має місце при обґрунтуванні породжуючого процесу $\pi_1(\omega, t)$.

Тоді кожне включення джерела вироблення електроенергії в момент часу τ_k з випадковою інтенсивністю $\alpha(\omega)$ буде викликати в лінійній системі вироблення електроенергії відгук у виді випадкового процесу виду:

$$\xi_k(\omega, t) = \alpha(\omega)\phi(t - \tau_k)\Phi(t - \tau_k)\Phi(\tau_k + \Delta t_{ok} - t), \quad (1)$$

де Δt_{ok} – інтервали часу формування електроенергії при k – тому включенні джерела.

Виходячи з припущення, що включення і відключення джерел вироблення електроенергії відбуваються незалежно, а сама енергосистема є лінійною з постійними в часі параметрами, то відповідно до теореми накладання n незалежних випадкових імпульсів (теорема Кемпбелла) отримуємо:

$$\xi(\omega, t) = \sum_{k=1}^n \xi_k(\omega, t) = \sum_{k=1}^n \alpha(\omega)\phi(t - \tau_k)\Phi(\tau_k + \Delta t_{ok} - t), \quad (2)$$

де $\{\tau_k, k = \overline{1, n}\}$ – різні випадкові моменти часу появи включень джерел вироблення електроенергії, що передують часу спостереження t .

Формула (2) має фізичну інтерпретацію сумарного формування електроенергії при n незалежних включень джерел.

На підставі використання (2) отримуємо нестационарний лінійний випадковий процес виду:

$$\xi(\omega, t) = \int_t^{t+T_0} \phi(\tau, t) d\eta'(\omega, \tau) d\tau,$$

$$\int_t^{t+T_0} \phi(t-\tau) \Phi(t-\tau) \Phi(\tau + \Delta t_0 - t) \pi'_1(\omega, \tau) d\tau,$$

де Δt_0 – статистично усереднені по ансамблю спостережень інтервали часу формування вироблення електроенергії.

Логарифм багатовимірної характеристичної функції стохастичного процесу вироблення електроенергії електростанції $\xi(\omega, t)$ описується виразом:

$$\ln f_{\xi}(u_1, \dots, u_n; t_1, \dots, t_n) = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n i u_j \int_t^{t+T_0} \phi(\tau, t) \beta(\tau) d\tau +$$

$$+ \int_t^{t+T_0} \int_t^{t+T_0} \left[\exp \left(\sum_{j=1}^n i u_j \phi(\tau, t_j) \right) - 1 - \frac{\sum_{j=1}^n i u_j \phi(\tau, t_j)}{1+x^2} \right] \cdot d_x d_{\tau} L(x, \tau), t \in [0, \infty), \quad (3)$$

Формула (3) описує стохастичну модель ритмічного вироблення енергії електростанції.

Висновок. Таким чином, розробка стохастичної моделі ритмічного вироблення енергії електростанції базується на використанні конструктивного методу завдання лінійного випадкового процесу. Створена модель є нестационарною і враховує випадковий характер включення в часі джерел вироблення електроенергії, а також ритмічність з періодом 24 години.

Отриманий повний в імовірнісному сенсі опис стохастичної моделі у виді періодичного лінійного процесу, дає можливість проводити дослідження такого процесу як у рамках кореляційної теорії, так і з урахуванням вищих моментів.

Література

1. Толбатов А. В. Статистична модель енергоспоживання при нештатних ситуаціях / А.В. Толбатов // Міжнародний науково-технічний журнал "ВОТТП". – Хмельницький, 2007. – № 2. – С. 92–93.
2. Інформаційна технологія аналізу динаміки процесів функціонування газотурбінної установки : автореф. дис ... канд. техн. наук / А.В. Толбатов. – Вінниця, 2013. – 22 с.
3. Толбатов А. В. Задачі статистичного аналізу графіків енергонавантаження електростанцій по дискретним даним вимірювань / А.В. Толбатов // Міжнародний науково-технічний журнал "ВОТТП". – Хмельницький, 2004. – № 2. – С. 46–49.
4. Толбатов А. В. Інформаційний моніторинг газотурбінних електростанцій / А. В. Толбатов // IX МНТК "АВІА-2009". – К. : НАУ, 2009. – С. 3.70–3.72.
5. Толбатов А. В. Аналіз перетворень електронних сигналів у лінійних і нелінійних трактах інформаційного моніторингу функціонування газотурбінної електростанції / А.В. Толбатов // X МНТК "АВІА-2011". – К. : НАУ, 2011. – С.3.52–3.55.
6. Толбатов А. В. Моніторинг інформаційних процесів як складова частина функціонування газотурбінної електростанції / А. В. Толбатов // Комп'ютерний моніторинг та інформаційні технології : матеріали V НТК. – Донецьк : ДонНТУ, 2009. – С. 374–376.
7. Толбатов А. В. Методика управління регулятором подачі газу / А. В. Толбатов // Матеріали та програма НТК "Інформатика, математика, автоматика "ІМА-2012". – Суми : СумДУ, 2012. – С. 53.
8. Толбатов А. В. Аналіз графіків енергонавантажень електростанцій за даними спостережень / А. В. Толбатов // Тези НТК викладачів, співробітників, аспірантів і студентів фізико-технічного факультету. – Суми : СумДУ, 2005. – С. 69–71.
9. Толбатов А. В. Методологія створення бази знань життєвого циклу автономних енергогенеруючих установок / А. В. Толбатов, В. А. Толбатов // Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки. – 2008. – № 1. – С. 140–146.
10. 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.
11. 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.
12. Мацюк О. В. Методологія статистичної обробки даних газоспоживання / О. В. Мацюк, М. В. Приймак, А. В. Толбатов // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – Івано-Франківськ, 2004. – № 4 (13). – С. 80–84.
13. Толбатов А. В. Стохастична ритмічна модель навантаження енергогенеруючих установок / А. В. Толбатов, В. Д. Черв'яков, Т. Л. Щербак // Вісник національного технічного університету "ХПІ". Тематичний випуск "Нові рішення в сучасних технологіях". – Харків : НТУ "ХПІ", 2005. – № 57. – С. 104–112.

14. Толбатов А. В. Методологія створення автоматизованих систем керування / А. В. Толбатов, В. Д. Черв'яков, Т. Л. Щербак // Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки. – 2005. – № 9 (81). – С. 124–130.
15. Марченко Н. Б. Задача інтерполяції графіків енергонавантажень / Н. Б. Марченко, О. В. Мацюк, А. В. Толбатов // Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки. – 2004. – № 12 (71). – С. 30–34.
16. Нечипорук В. В. Математична модель перешкод при роботі АСУ газотурбінної електростанції / В. В. Нечипорук, А. В. Толбатов // Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки. – 2003. – № 11(57). – С. 24–31.
17. Черв'яков В. Д. Елементи інформаційної технології обробки даних при функціонуванні газотурбінної електростанції / В. Д. Черв'яков, В. А. Толбатов, А. В. Толбатов // Контроль і управління в складних системах (КУСС–2012) : тези доповідей XI Міжнародної конференції (Вінниця, 9–11 жовтня 2012 року). – Вінниця : ВНТУ, 2012. – С. 109–110.
18. Марченко Н. Б. Дослідження процесів вироблення електроенергії автономними газотурбінними електростанціями на стаціонарність / Н. Б. Марченко, А. В. Толбатов // XXXI науково-технічна конференція “Моделювання”, 11–12 січня 2012 р. / НАН України ; Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова.– К., 2012. – С. 32.
19. Толбатов А. В. Опис стохастичного ритмічного характеру навантаження електромереж / А. В. Толбатов // Тези НТК викладачів, співробітників, аспірантів і студентів фізико-технічного факультету. – Суми : СумДУ, 2004. – С. 138–140.
20. Толбатов А. В. Сучасний стан теорії і практики обробки випадкових сигналів в інформаційних трактах системи моніторингу / А. В. Толбатов // Матеріали та програма НТК викладачів, співробітників, аспірантів і студентів факультету електроніки та інформаційних технологій. – Суми : Вид-во СумДУ, 2009. – С. 169–170.
21. Pavlenko P. Infomation technology support for the functioning of the gas turbine power / P. Pavlenko, A.V. Tolbatov // The fifth world congress "Aviation in the XXI century". – Kyiv, 2012. – P. 1.8.35 – 1.8.37.

References

1. Tolbatov A.V. Statystychna model' enerhospozhyvannya pry neshatnykh sytuatsiyakh / A.V. Tolbatov // Mizhnarodnyy naukovotekhnichnyy zhurnal “VOTTP”. – Khmel'nyts'ky, 2007. – № 2. – S. 92–93.
2. Informatsiyana tekhnolohiya analizu dynamiky protsesiv funktsionuvannya hazoturbinoiy ustanovky : avtoref. dys ... kand. tekhn. nauk / A.V. Tolbatov. – Vinnytsya, 2013. – 22 s.
3. Tolbatov A.V. Zadachi statystychnoho analizu hrafikiv enerhonavantazheniya elektrostantsiy po dyskretnym danyim vymiryuvan' / A. V. Tolbatov // Mizhnarodnyy naukovotekhnichnyy zhurnal “VOTTP”. – Khmel'nyts'ky, 2004. – № 2 (24). – S. 46–49.
4. Tolbatov A. V. Informatsiyyny monitorynh hazoturbinnikh elektrostantsiy / A. V. Tolbatov // IX MNTK “AVIA-2009”. – K. : NAU, 2009. – S. 3.70–3.72.
5. Tolbatov A.V. Analiz peretvoren' elektronnykh syhnaliv u liniynykh i neliniynykh traktakh informatsiynoho monitorynhu funktsionuvannya hazoturbinoiy elektrostantsiy / A.V. Tolbatov // X MNTK “AVIA-2011”. – K.: NAU, 2011. – S.3.52–3.55.
6. Tolbatov A.V. Monitorynh informatsiynykh protsesiv yak skladova chastyna funktsionuvannya hazoturbinoiy elektrostantsiy / A.V. Tolbatov // Komp'yuternyy monitorynh ta informatsiyni tekhnolohiyi : materialy V NTK. – Donetsk : DonNTU, 2009. – S. 374–376.
7. Tolbatov A.V. Metody upravlinnya rehulyatorom podachi hazu / A. V. Tolbatov // Materialy ta prohrama NTK “Informatyka, matematyka, avtomatyka “IMA-2012”. – Sumy : SumDU, 2012. – S. 53.
8. Tolbatov A. V. Analiz hrafikiv enerhonavantazhen' elektrostantsiy za danyymi sposterezhen' / A. V. Tolbatov // Tezy NTK vykladachiv, spivrobitnykiv, aspirantiv i studentiv fizyko-tekhnichnoho fakul'tetu. – Sumy : SumDU, 2005. – S. 69–71.
9. Tolbatov A. V. Metodolohiya stvorenniya bazy znan' zhytlyevoho tsykladu avtonomnykh enerhoheneruyuchykh ustanovok / A. V. Tolbatov, V. A. Tolbatov // Visnyk Sums'koho derzhavnoho universytetu. Seriya Tekhnichni nauky. – 2008. – № 1. – S. 140–146.
10. Marchenko N. B. Statystychnyy analiz protsesu vyroblyennya elektroenerhiyi hazoturbinnymy elektrostantsiyamy / N. B. Marchenko, A. V. Tolbatov, T. L. Shcherbak // Elektronika ta systemy upravlinnya. – K. : NAU, 2012. – № 2. – S. 130–137.
11. Marchenko N. B. Statystychnyy analiz protsesu vyroblyennya elektroenerhiyi avtonomnymy hazoturbinnymy elektrostantsiyamy / N. B. Marchenko, A. V. Tolbatov, T. L. Shcherbak // Modelyuvannya ta informatsiyni tekhnolohiyi : zb. nauk. prats' / IPME NAN Ukrayiny. – K. : IPME NAN Ukrayiny, 2012. – Vyp. 64. – S. 14–21.
12. Matsyuk O. V. Metodolohiya statystychnoyi obrobky danykh hazospozhyvannya / O. V. Matsyuk, M. V. Prymak, A. V. Tolbatov // Rozvidka ta rozrobka naftovykh i hazovykh rudovyshch. – Ivano-Frankivs'k, 2004. – № 4 (13). – S. 80–84.
13. Tolbatov A. V. Stokhastychna rytmychna model' navantazheniya enerhoheneruyuchykh ustanovok / A. V. Tolbatov, V. D. Cherv'yakov, T. L. Shcherbak // Visnyk natsional'noho tekhnichnoho universytetu “KhPI”. Tematychnyy vypusk “Novi rishennya v suchasnykh tekhnolohiyakh”. – Kharkiv : NTU “KhPI”, 2005. – № 57. – S. 104–112.
14. Tolbatov A. V. Metodolohiya stvorenniya avtomatyzovanykh system keruvannya / A. V. Tolbatov, V. D. Cherv'yakov, T. L. Shcherbak // Visnyk Sums'koho derzhavnoho universytetu. Seriya Tekhnichni nauky. – 2005. – № 9 (81). – S. 124–130.
15. Marchenko N. B. Zadacha interpolyatsiyi hrafikiv enerhonavantazhen' / N. B. Marchenko, O. V. Matsyuk, A. V. Tolbatov // Visnyk Sums'koho derzhavnoho universytetu. Seriya Tekhnichni nauky. – 2004. – № 12 (71). – S. 30–34.
16. Nechiporuk V. V. Matematychna model' pereshkod pry roboti ASU hazoturbinoiy elektrostantsiy / V.V. Nechiporuk, A.V. Tolbatov // Visnyk Sums'koho derzhavnoho universytetu. Seriya Tekhnichni nauky. – 2003. – № 11(57). – S. 24–31.
17. Cherv'yakov V. D. Elementy informatsiynoiy tekhnolohiyi obrobky danykh pry funktsionuvanni hazoturbinoiy elektrostantsiy / V. D. Cherv'yakov, V. A. Tolbatov, A. V. Tolbatov // Kontrol' i upravlinnya v skladnykh systemakh (KUSS–2012) : tezy dopovidey KhI Mizhnarodnoiy konferentsiyi (Vinnytsya, 9–11 zhovtnya 2012 roku). – Vinnytsya : VNTU, 2012. – S. 109–110.
18. Marchenko N. B. Doslidzhennya protsesiv vyroblyennya elektroenerhiyi avtonomnymy hazoturbinnymy elektrostantsiyamy na statsionarnist' / N. B. Marchenko, A. V. Tolbatov // KhKhKhI naukovotekhnichna konferentsiya “Modelyuvannya”, 11–12 sichnya 2012 r. / NAN Ukrayiny ; Instytut problem modelyuvannya v enerhetytsi im. H. Ye. Pukhova.– K., 2012. – S. 32.
19. Tolbatov A. V. Opys stokhastychnoho rytmychnoho kharakteru navantazheniya elektromerezh / A. V. Tolbatov // Tezy NTK vykladachiv, spivrobitnykiv, aspirantiv i studentiv fizyko-tekhnichnoho fakul'tetu. – Sumy : SumDU, 2004. – S. 138–140.
20. Tolbatov A. V. Suchasnyy stan teoriyi i praktyky obrobky vypadkovykh syhnaliv v informatsiynykh traktakh systemy monitorynhu / A. V. Tolbatov // Materialy ta prohrama NTK vykladachiv, spivrobitnykiv, aspirantiv i studentiv fakul'tetu elektroniky ta informatsiynykh tekhnolohiy. – Sumy : Vyd-vo SumDU, 2009. – S. 169–170.

Рецензія/Peer review : 4.5.2017 р. Надрукована/Printed : 14.6.2017 р.
Стаття рецензована редакційною колегією