

УДК 664:621.5

DYNAMIC PREDICTION OF LEVEL AND SPEED OF TEMPERATURE INCREASE OF A DAMAGED KNOT OF TURBOGENERATOR

O. Mazurenko, V. Samsonov

National University of Food Technologies

L. Vorobiev

Institute of Technical Thermophysics of NAS of Ukraine

Key words:

*Turbogenerator
Managing the
development of defect
Degree of danger
Dynamic prediction
Multiple approximation*

Article history:

Received 09.11.2015

Received in revised form
28.11.2015

Accepted 18.12.2015

Corresponding author:

O. Mazurenko

E-mail:

npuft@ukr.net

ABSTRACT

The extension of reliable work of domestic turbogenerators, which have almost fully exceeded their safe usage date, is very important for technical diagnostics of the thermal state of turbogenerator. However, their disadvantage is that they tend to influence the occurrence of the defect, do not provide hazard assessment of arising defects, and do not monitor their development over time. The proposed method of dynamic prediction of the law of increasing the temperature of the damaged turbine generator unit provides the ability to manage the development of the defects of turbine generator and is the basis for improving the information technology for diagnostics of the thermal state of stator and other basic knots of turbogenerators.

ОПЕРАТИВНЕ ПРОГНОЗУВАННЯ РІВНЯ І ШВИДКОСТІ ЗБІЛЬШЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ПОШКОДЖЕНОГО ВУЗЛА ТУРБОГЕНЕРАТОРА

О.О. Мазуренко, В.В. Самсонов

Національний університет харчових технологій

Л.І. Воробйов

Інститут технічної теплофізики НАН України

Інформаційним технологіям технічної діагностики теплового стану турбогенератора належить вирішальна роль у продовженні надійної роботи вітчизняних турбогенераторів, які майже повністю відпрацювали свій проектний ресурс. Але їх недоліком є те, що вони, як правило, реагують на виникнення дефекту і не надають оцінки небезпеки розвитку дефекту, що виник, а також не відстежують його розвиток в часі. Запропонований метод оперативного прогнозування закону збільшення температури пошкодженого вузла турбогенератора забезпечує можливість управління розвитком дефекту турбогенератора і є основою для вдосконалення інформаційної технології діагностики теплового стану статора та інших основних вузлів турбогенератора.

Ключові слова: турбогенератор, управління розвитком дефекту, ступінь небезпеки, оперативне прогнозування, багатоваріантна апроксимація.

Постановка проблеми. Для керування розвитком дефекту і прийняття заходів з недопущення аварійної ситуації важливо якомога швидше встановити вид і місце виникнення дефекту, спрогнозувати рівень, до якого може збільшуватися температура пошкодженого вузла, і час досягнення гранично допустимого рівня температури.

З аналізу результатів експериментальних і аналітичних досліджень процесів нагрівання електричних машин [1] випливає, що збільшення температури машини у часі відбувається за експонентою. Разом з тим, враховуючі різноманітність видів і комбінацій дефектів, які можуть виникнути при експлуатації електричної машини і впливати на її тепловий стан, важко передбачити закономірність і рівень збільшення температури дефектного вузла.

Мета дослідження. Вдосконалення інформаційних технологій технічної діагностики теплового стану турбогенератора.

Матеріали і методи. Збільшення температури будь-якого з вузлів турбогенераторів ТГ, враховуючі різноманітність видів і комбінацій дефектів, можна характеризувати кривою 1 (рис. 1), ділянки якої відрізняються між собою за швидкістю зміни температури у часі [2].

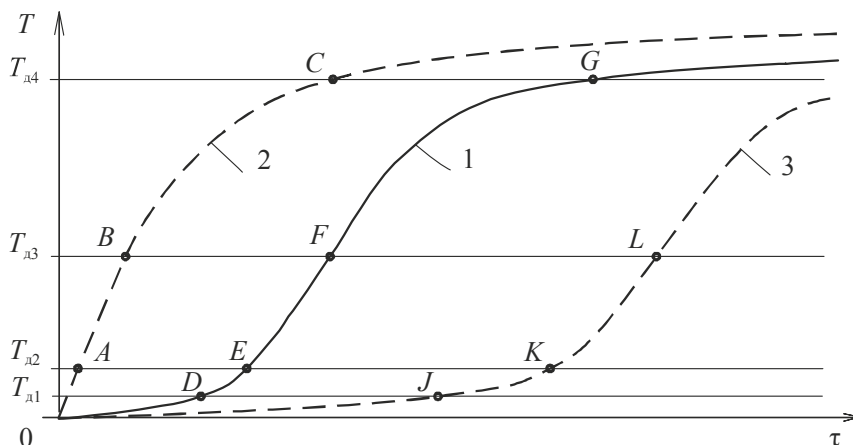


Рис. 1. Можливі залежності (1—3) збільшення температури вузла ТГ

На етапі виникнення дефекту (ділянка $0D$ кривої 1) збільшення температури вузла ТГ у часі відбувається повільно. Оскільки характер розвитку дефекту і, відповідно, подальшої зміни температури вузла невідомі, експериментальні дані вимірювання температури при виникненні дефекту попередньо можуть бути надані у вигляді лінійного рівняння :

$$T_1 = A_1 \cdot \tau + B_1. \quad (1)$$

З розвитком дефекту ділянка $D-E-F$ кривої 1, швидкість наростання температури елемента суттєво збільшуються. Ця ділянка кривої $T = f(\tau)$ може бути описана рівнянням виду:

$$T_2 = A_2 \cdot \exp(C_2 \cdot \tau) + B_2. \quad (2)$$

Після закінчення формування дефекту ділянка $F-G$ виділення теплоти стабілізується і температура вузла змінюється за експонентою:

$$T_3 = A_3 \cdot \exp(-C_3 \cdot \tau) + B_3. \quad (3)$$

З часом швидкість збільшення температури вузла поступово зменшується і температура має досягнути певного сталого значення.

Розміри виділених ділянок на кривій кінетики температури пошкодженого вузла ТГ по вісі абсцис (час) і вісі ординат (температура) графіка можуть бути різними і залежати від виду дефекту, швидкості його розвитку та будови вузла. Це означає, що допустима температура нагрівання вузла машини може опинитися на будь-якій з названих ділянок кривої 1. У зв'язку з цим можливе розташування максимально допустимої температури нагрівання вузла ТГ на кривій 1 (рис. 1) покажемо у вигляді горизонтальних прямих ($T_{д1} = const$, $T_{д2} = const$, $T_{д3} = const$ та $T_{д4} = const$), які проходять через верхню за температурою межу виділених ділянок.

Можливість різного «розміру» виділених ділянок на кривій $T = f(\tau)$ означає, що загальний вигляд кривої також буде залежати від виду дефекту, швидкості його розвитку та будови вузла. Так, наприклад, у разі пошкодження електричної ізоляції стрижня обмотки статора на кривій $T = f(\tau)$ стрижня не буде ділянки повільного збільшення температури. Зміна температури стрижня буде відбуватися за кривою 2 (рис. 1). На початку забруднення каналів стрижня статорної обмотки ТГ, де рухається охолоджуюча вода, температура стрижня буде змінюватися повільно (рис. 1, ділянка ОК кривої 3). Коли прохідний переріз зменшиться до певного значення і вода фактично перестане надходити у канали стрижня, швидкість зміни температури значно збільшиться (ділянка $K-L$ кривої 3).

На початку етапу розвитку дефекту і малої кількості даних вимірювання температури складно визначити яким чином буде збільшуватися температура пошкодженого вузла. По-перше, це пояснюється множиною можливих варіантів розвитку дефекту. По-друге, наявністю в результатах вимірювань температури «шумів» і похибок. Крім цього, з результатів аналізу кривих (рис. 1) випливає, що в окремі проміжки часу температура пошкодженого вузла ТГ може змінюватися з великою швидкістю. Це також ускладнює надання прогнозу стосовно розвитку дефекту і збільшення температури вузла.

У зони біля точок E та K на кривих 1 і 2 відбувається різка зміна швидкості збільшення температури вузла ТГ. Враховуючи, що ділянка експоненціальної кривої, де швидкість зростання температури безперервно збільшується, є найбільш небезпечною з точки зору розвитку дефекту і виникнення аварійної ситуації, то такій ділянці надамо найвищий «третій» ранг небезпеки ($Rang = 3$).

Ділянкам кривої, де температура елемента змінюється лінійно (постійна швидкість зростання температури), надамо «другий» ранг небезпеки ($Rang = 2$). Ділянкам $B-C$ та $F-G$, де температура збільшується за експонентою, але швидкість зміни температури при цьому зменшується, надамо «перший» ранг небезпеки — $Rang = 1$. Якщо ж на певній ділянці кривої $T = f(\tau)$ температура елемента протягом часу не змінюється і залишається величиною сталою, то такій ділянці надамо «нульовий» ранг небезпеки $Rang = 0$.

Для оперативного прогнозування температури розвитку дефекту та швидкості досягнення гранично допустимої температури попередньо мають бути визначені:

- значення допустимих температур T_d основних вузлів ТГ;
- максимально можливі похибки визначення температури елементів, включаючи похибки вимірювання і шумову складову D_T ;
- ранги небезпеки для різних видів апроксимацій зміни температури вузла ТГ;
- час τ_p , потрібний для зупинки ТГ;
- коефіцієнт запасу K_3 , який враховує виробничі й технічні особливості заходів щодо зупинки конкретного ТГ.

Крім цього, потрібно забезпечити:

- безперервне та швидке опитування каналів виміру температури;
- проведення аналізу співвідношення значень вимірної і допустимої температур елемента ТГ для кожного з каналів вимірювань;
- визначення відхилення ($\Delta T_{ц}$), вимірної в останньому циклі T_b , від стаціонарної при цьому режимі роботи ТГ.

Величина $\Delta T_{ц}$ може бути визначена як різниця між останнім результатом виміру температури і середнім значенням температури вузла ТГ за попередні 10—20 вимірів. Якщо значення $\Delta T_{ц}$ менше похибки виміру температури і шумової складової D_T , тобто $\Delta T_{ц} < K_3 \cdot D_T$, то таке відхилення розглядаємо як випадкову флуктуацію. При цьому значення коефіцієнта запасу $K_{31}=1 \dots 3$ обираємо таким, що забезпечує стійку роботу системи, відкинувши випадкові збільшення вимірів.

Якщо $\Delta T_{ц} \geq K_3 \cdot D_T$, то це свідчить про невідповідне збільшення температури і вимагає подальшого спостереження за цим вимірювальним каналом, проведення аналізу й прогнозування розвитку дефекту.

Аналогічний перехід до аналізу і прогнозування розвитку ситуації здійснюється, коли фактична виміряна температура T_b елемента ТГ відрізняється від значення допустимої температури менше за обумовлену для цього елемента величину, наприклад, $(T_d - T_b) < 5$ К.

Після переходу в режим аналізу і прогнозування розвитку ситуації при кожному новому вимірі проводиться апроксимація кінетичної кривої за однією з розглянутих функцій до значення допустимої температури. Поки кількість вимірів температури по контрольованому каналу не перевищує обумовлене значення, наприклад 10, зміну температури вузла описуємо рівнянням (1), дію якого поширюємо до значення допустимої температури. Тут A_1 і B_1 — коефіцієнти регресії, значення яких розраховуються за формулами [3, 4] з використанням результатів вимірювання температури вузла у часі.

Коли кількість вимірів по контрольованому каналу перебільшить 10, розрахунок коефіцієнтів регресії виконується для трьох варіантів закону зміни температури — за рівняннями (1), (2), (3).

Далі розраховуються коефіцієнти регресії для кожного з трьох варіантів апроксимації та здійснюється оцінка похибки апроксимації при n вимірах. Для цього визначається приведена квадратична відносна похибка:

$$R_j^2 = \left[\sum_{i=1}^n (T_{vi} - \widehat{T}_{ji})^2 \right] / \left[\sum_{i=1}^n (T_{vi} - \widehat{T}_{li})^2 + \sum_{i=1}^n (T_{vi} - \widehat{T}_{2i})^2 + \sum_{i=1}^n (T_{vi} - \widehat{T}_{3i})^2 \right], \quad (4)$$

де T_{vi} — вимірне i -те значення температури; \widehat{T}_{ji} — значення температури, розраховане за j -тим варіантом апроксимації для i -того значення часу τ .

За результатами визначення похибок обирається варіант апроксимації. Причому за робочий приймається варіант, якому властива мінімальна похибка. Проте якщо похибка іншого варіанта відрізняється від похибки «робочого» варіанта не більше, ніж на 5 % (що відповідає значенням похибок вимірювань), то потрібно провести порівняння варіантів за рангом небезпеки і як «робочий» обрати варіант, який має вищий ранг. Наприклад:

1. Апроксимація функції $T_1 = A_1 \cdot \tau + B_1$, похибка $R_1^2 = 0,30$.
2. Апроксимація функції $T_2 = A_2 \cdot \exp(C_2 \cdot \tau) + B_2$, похибка $R_2^2 = 0,31$.
3. Апроксимація функції $T_3 = A_3 \cdot \exp(-C_3 \cdot \tau) + B_3$, похибка $R_3^2 = 0,39$.

За варіантом 1 маємо найменшу похибку апроксимації, проте оскільки похибка для варіантом 2 відрізняється менше, ніж на 5 %, за робочий варто прийняти саме варіант 2, який має більший ранг небезпеки $\text{Rang} = 3$. Результат екстраполяції обраної таким чином функції апроксимації дослідних даних використовується для прогнозування зростання температури вузла ТГ.

Одночасно з розрахунком кінетичної кривої температури визначається час τ_d , за який температура елемента ТГ досягне допустимого значення T_d . Якщо прогнозний час τ_d досягнення T_d близький до часу, необхідного для прийняття рішення щодо умов експлуатації машини і прийняття відповідних заходів, тобто коли $\tau_d \leq K_{32} \cdot \tau_p$, на екрані монітора з'являється повідомлення про небезпеку. Тут значення коефіцієнта запасу $K_{32} \approx 1 \dots 5$ обирається за умови наявності часу для прийняття рішення щодо умов подальшої роботи ТГ.

Аналогічним чином видається повідомлення у випадку, коли різниця між значеннями допустимої і вимірної температури елемента близька до заздалегідь обумовленого критичного значення, наприклад, $(T_d - T_v) < 5 \text{ K}$.

Узагальнений алгоритм підпрограми прогнозування рівня та швидкості збільшення температури пошкодженого вузла статора ТГ наведений на рис. 2. Маємо зазначити, що розроблений метод і, відповідно, алгоритм, який наведений на рис. 2, є принципово придатними для прогнозування рівня та швидкості збільшення температури будь-якого з вузлів ТГ.

Покажемо методику визначення коефіцієнтів регресії апроксимаційних функцій зміни температури. Вихідні дані — чисельна залежність з $(n + 1)$ пар даних (час і температура), що отримана прямими вимірюваннями:

$$(\tau_0, T_{v0}); (\tau_1, T_{v1}); (\tau_2, T_{v2}); \dots (\tau_i, T_{vi}); \dots (\tau_n, T_{vn}).$$

Необхідно отримати функцію апроксимації $\widehat{T} = f(\tau)$, яка забезпечує мінімізацію суми квадратів відхилень результатів вимірювань від значень, розрахованих за функцією апроксимації:

$$F = \sum_{i=0}^n [T_{vi} - f(\tau_i)]^2 \rightarrow \min.$$

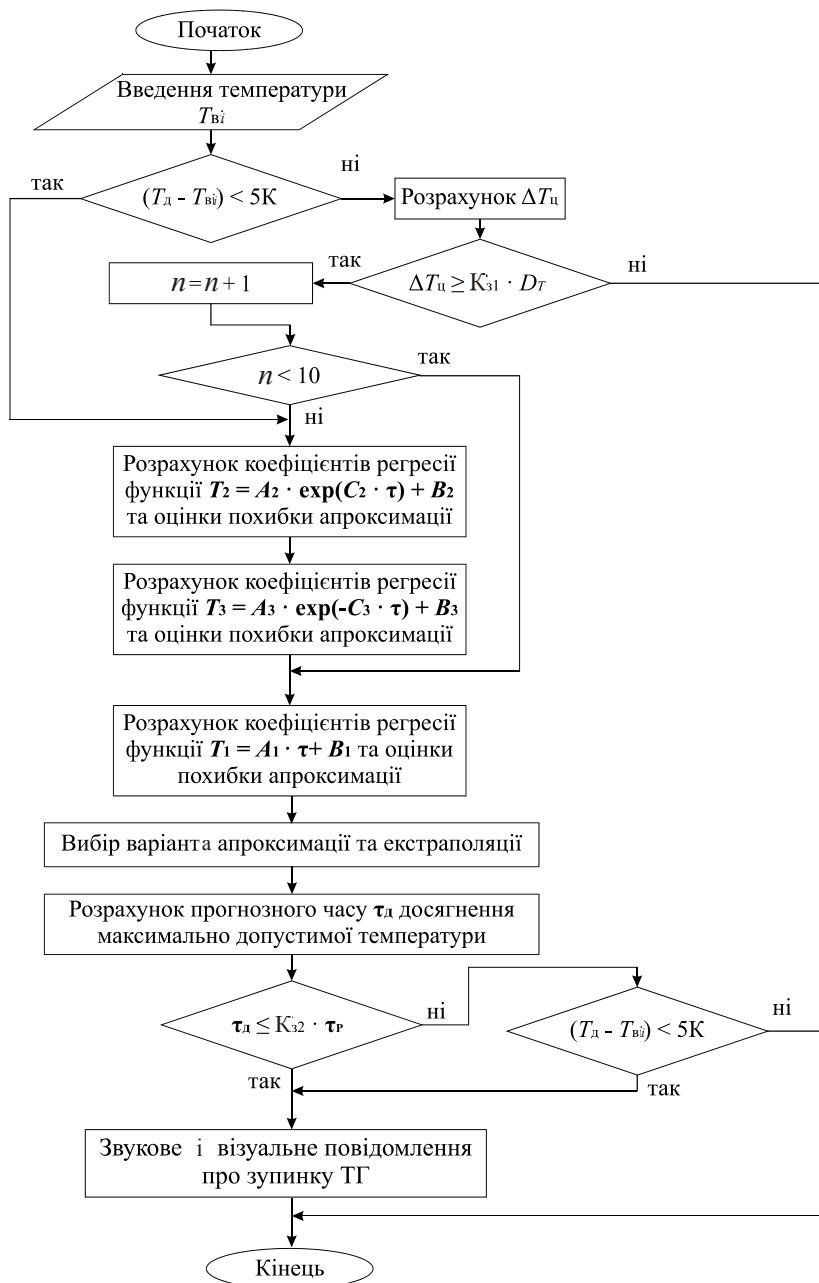


Рис. 2. Узагальнений алгоритм підпрограми прогнозування рівня і швидкості збільшення температури пошкодженого вузла ТГ

Для апроксимації функції $T_1 = A_1 \cdot \tau + B_1$ задачу вирішуємо аналітично. Часткові похідні функції F по коефіцієнтах A_1 і B_1 прирівнюємо до 0 і з рішення системи рівнянь маємо рівняння розрахунку коефіцієнтів регресії:

$$A_1 = \frac{(n+1) \sum_{i=0}^n (\tau_i \cdot T_{Bi}) - \sum_{i=0}^n \tau_i \cdot \sum_{i=0}^n T_{Bi}}{(n+1) \sum_{i=0}^n \tau_i^2 - \left(\sum_{i=0}^n \tau_i \right)^2}; \quad (5)$$

$$B_1 = \frac{\left(\sum_{i=0}^n \tau_i \right)^2 \cdot \sum_{i=0}^n T_{Bi} - \sum_{i=0}^n \tau_i \cdot \sum_{i=0}^n (\tau_i \cdot T_{Bi})}{(n+1) \sum_{i=0}^n \tau_i^2 - \left(\sum_{i=0}^n \tau_i \right)^2}. \quad (6)$$

Для функції $T_2=A_2 \cdot \exp(C_2 \cdot \tau)+B_2$ при значенні коефіцієнта $C_2=1$ задача також має аналітичне рішення, але при трьох невідомих коефіцієнтах можна отримати систему лише з двох незалежних нелінійних трансцендентних рівнянь:

$$A_2 \cdot \sum_{i=0}^n \exp(2 \cdot C_2 \cdot \tau_i) + B_2 \cdot \sum_{i=0}^n \exp(C_2 \cdot \tau_i) = \sum_{i=0}^n T_{Bi} \cdot \exp(2 \cdot C_2 \cdot \tau_i), \quad (7)$$

$$A_2 \cdot \sum_{i=0}^n \exp(C_2 \cdot \tau_i) + (n+1) \cdot B_2 = \sum_{i=0}^n T_{Bi}. \quad (8)$$

У системі з рівнянь (7), (8) маємо три невідомих, тому система має нескінченну кількість рішень. Для вирішення цієї суперечності припустимо, що апроксимаційна функція проходить точно крізь першу з точок, з якої почалася зміна температури. Відлік часу τ також почнемо з цього моменту. Тобто $i=0$, $\tau_0=0$, звідки $\exp(C_2 \cdot \tau) = 1$, і, відповідно, $A_2 + B_2 = T_0$.

Нелінійна система з рівнянь (7), (8) може бути вирішена з використанням чисельних методів. Не можна гарантувати, що при цьому отримаємо оптимальне рішення для мінімізації функції F , тому що рівняння (7) є дійсним тільки у разі, якщо відсутні шуми та похибки вимірювань. За наявності похибки виміру температури і шумової складової D_T , можна стверджувати, що значення суми коефіцієнтів A_2 , B_2 знаходиться на проміжку від $(T_0 - D_T)$ до $(T_0 + D_T)$, тому оптимальні значення коефіцієнтів можуть бути знайдені одним з градієнтних методів пошуку екстремуму функції F .

Наведений алгоритм визначення коефіцієнтів регресії чисельними методами потребує виконання низки ітерацій, що за наявності великої кількості пар вихідних даних і контрольованих за температурою точок, може потребувати тривалого машинного часу. Для прискорення обчислень можна застосувати спрощений алгоритм розрахунків, який забезпечує меншу точність. Так апроксимацію експоненціальної функції можна виконати у разі наявності трьох дослідних точок. Для цього краще обрати точки, що розташовані на кінцях і в середині інтервалу часу проведення вимірювань з моменту початку підвищення температури. Тобто використовуються точки $i=0$, $i=n$ та $i=n/2$ (якщо n — парне число), або $i=(n+1)/2$ (якщо n — непарне число). Оскільки вимірювання проводяться через рівні проміжки часу τ_b , а $\tau_i=0$, можна записати такі рівняння:

$$\begin{aligned}
 i = 0 \quad A_2 + B_2 &= T_0; \\
 i = n/2 \quad \exp[C_2 \cdot (n/2) \cdot \tau_B] + B_2 &= T_{n/2}; \\
 i = n \quad A_2 \cdot \exp(C \cdot n \cdot \tau_B) + B_2 &= T_n.
 \end{aligned}
 \tag{9}$$

У результаті перетворень рівнянь (7) — (9) отримуємо рівняння:

$$\frac{\exp[C_2 \cdot (n/2) \cdot \tau_B] - 1}{\exp(C_2 \cdot n \cdot \tau_B) - 1} = \frac{T_{n/2} - T_0}{T_n - T_0};
 \tag{10}$$

$$A_2 = \frac{T_n - T_0}{\exp(C_2 \cdot n \cdot \tau_B) - 1};
 \tag{11}$$

$$B_2 = T_0 - A_2.
 \tag{12}$$

Вирішення рівняння (10) також потребує застосування чисельних методів розрахунків, але оскільки при цьому використовується лише три пари вихідних даних, рішення потребує менше часу.

Результати і обговорення. Запропонована методика є придатною для прогнозування рівня та швидкості збільшення температури пошкодженого вузла, яке відбувається внаслідок виникнення будь-якого виду дефекту або комбінації дефектів. Разом з тим необхідно відзначити, що наявність похибок вимірювання температури призводить до ускладнення методики обробки сигналів датчиків температури та, відповідно, коректного визначення закону підвищення температури пошкодженого вузла ТГ.

У випадку, коли утворення дефекту не призводить до зміни витрат середовища, яким здійснюється охолодження вузла, тобто без зміни значення коефіцієнта тепловіддачі α , температура вузла ТГ, наприклад, стрижня обмотки статора ТГ, збільшується за експонентою виду $T_3 = A_3 \cdot \exp(-C_3 \cdot \tau) + B_3 \pm \Delta$, результати прогнозу рівня та швидкості збільшення температури можуть бути перевірені таким чином: після закінчення налагоджувальних чи планових ремонтних робіт, одночасно з випробовуванням ТГ і отриманням лінійних еталонних залежностей температури T_m кожного стрижня статорної обмотки (вузла ТГ) від квадрата струму статора I^2 (струму навантаження) ТГ [5]:

$$T_m = M \cdot I_1^2 + N \pm \Delta,
 \tag{13}$$

може бути визначена експериментальним шляхом або ж розрахована [1] постійна часу нагрівання стрижня:

$$K_\tau = c_m \cdot m_m / (\alpha \cdot S),
 \tag{14}$$

де c_m , m_m та S — теплоємність, маса та поверхня пошкодженого вузла ТГ, з якої відводиться теплота.

Оскільки постійна часу нагрівання стрижня K_τ не залежить від величини збільшення струму статора — струму навантаження ТГ $K_\tau \neq f(\Delta I^2)$, то кінетика збільшення температури стрижня внаслідок збільшення діючого струму може бути описана рівнянням:

$$T_m = T_0 + (T_y - T_0) \cdot [1 - \exp(-\tau / K_\tau)],
 \tag{15}$$

де T_0 — температура стрижня (вузла ТГ), виміряна у момент часу $\tau_0 = 0$, який прийнятий за початок процесу нагрівання стрижня; T_y — ustalena температура стрижня (вузла ТГ), яка встановлюється внаслідок збільшення струму статора на величину ΔI .

Оскільки значення постійної часу K_τ стрижня обмотки статора (вузла ТГ) є попередньо визначеним при проведенні випробовування ТГ, то в результаті вирішення системи, складеної із рівняння:

$$T_{mi} = T_0 + (T_y - T_0) \cdot [1 - \exp(-\tau_i / K_\tau)], \quad (16)$$

одержаного в результаті вимірювання при τ_i температури T_{mi} стрижня статорної обмотки (вузла ТГ), який нагрівається, та рівняння

$$T_{md} = T_0 + (T_y - T_0) \cdot [1 - \exp(-\tau_d / K_\tau)], \quad (17)$$

складеного з використанням обумовленого значення допустимої температури стрижня T_{md} (вузла ТГ) та часу τ_d , потрібного для її досягнення; отримуємо рівняння розрахунків ustalenoї T_y температури стрижня (вузла ТГ) і часу τ_d досягнення у стрижні (вузлі ТГ) допустимої температури:

$$T_y = \frac{T_{mi} - T_0}{1 - \exp(-\tau_i / K_\tau)} + T_0; \quad (18)$$

$$\tau_d = K_\tau \cdot \ln[(T_y - T_0) / (T_y - T_{md})]. \quad (19)$$

Таким чином, якщо постійна часу нагрівання стрижня визначена заздалегідь, для визначення часу нагрівання пошкодженого вузла ТГ до допустимої температури достатньо провести два виміри температури цього вузла.

Висновок

Запропонований метод оперативного прогнозування закону збільшення температури пошкодженого вузла турбогенератора, який базується на багатоваріантній апроксимації результатів вимірювань з подальшою екстраполяцією функції, отриманої з урахуванням ступеня небезпеки можливих сценаріїв розвитку дефекту, забезпечує можливість управління розвитком дефекту турбогенератора і є основою для вдосконалення інформаційної технології діагностики теплового стану статора та інших основних вузлів турбогенератора.

Література

1. *Филиппов И.Ф.* Теплообмен в электрических машинах / И.Ф. Филиппов — Л.: Энергоатомиздат, Ленинградское отделение, 1986. — 256 с.
2. *Пехович А.И.* Расчеты теплового режима твердых тел / А.И. Пехович, В.М. Жидких. — Л.: Энергия, 1976. — 352 с.
3. *Кузенков М.В.* Методы, техника и математическая обработка данных / М.В. Кузенков, В.Г. Середкин. — Красноярск: СибФУ, 2007. — 244 с.
4. *Маркин Н.С.* Основы теории обработки результатов измерений / Н.С. Маркин. — М.: Издательство стандартов, 1991. — 176 с.
5. *Мазуренко О.О., Самсонов В.В.* Діагностика і управління розвитком теплових дефектів діючого турбогенератора // Наукові праці Національного університету харчових технологій. — 2014. — Том 20, № 3. — С. 157—168.

ОПЕРАТИВНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УРОВНЯ И СКОРОСТИ УВЕЛИЧЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВРЕЖДЕННОГО УЗЛА ТУРБОГЕНЕРАТОРА

О.А. Мазуренко, В.В. Самсонов

Национальный университет пищевых технологий

Л.Й. Воробьев

Институт технической теплофизики НАН Украины

Информационным технологиям технической диагностики теплового состояния турбогенератора принадлежит решающая роль в продлении надежной работы отечественных турбогенераторов, которые почти полностью отработали свой проектный ресурс. Но их недостатком является то, что они, как правило, реагируют на возникновение дефекта и не предоставляют оценки опасности развития возникшего дефекта, а также не отслеживают его развитие во времени. Предложенный метод оперативного прогнозирования закона увеличения температуры поврежденного узла турбогенератора обеспечивает возможность управления развитием дефекта турбогенератора и является основой для совершенствования информационной технологии диагностики теплового состояния статора и других основных узлов турбогенератора.

Ключевые слова: *турбогенератор, управление развитием дефекта, степень опасности, оперативное прогнозирование, многовариантная аппроксимация.*