

TECHNICAL DIAGNOSTICS OF TURBOGENERATOR THERMAL MONITORING MULTICHANNEL SYSTEM

O. Mazurenko, V. Samsonov
National University of Food Technologies

Key words: <i>Turbogenerator</i> <i>Resistance thermometers</i> <i>Temperature</i> <i>Diagnostics</i> <i>Multi-channel control system</i> <i>Metrology</i>	ABSTRACT The accuracy of determining the causes of deviations in a turbogenerator and decision concerning further conditions of its operation depend from the obtained results of diagnostic systems and information-measuring system. Therefore, all components require a separate diagnostics, which will identify and predict the hardware and "metrology" failures. However, in order to assess the validity of the data received from resistance thermometers located inside the turbine generator, the equipment should be stopped and dismantled. Therefore, a two-tiered system diagnostic algorithm is suggested that will identify performance failures of "fault" or "closing" type in the range of measurement and calibration changes in resistance thermometers characteristics, which was created in order to improve the accuracy and reliability of the diagnostics, prognosis of creation, and ways of development and consequences of defects without dismantling the equipment components.
Article history: Received 01.08.2014 Received in revised form 12.08.2014 Accepted 29.08.2014	
Corresponding author: O. Mazurenko E-mail: gravitation@list.ru	

ТЕХНІЧНА ДІАГНОСТИКА БАГАТОКАНАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ТЕПЛОВОГО СТАНУ ТУРБОГЕНЕРАТОРА

О.О. Мазуренко, В.В. Самсонов
Національний університет харчових технологій

Від отриманих результатів систем діагностики та інформаційно-вимірального комплексу залежить достовірність визначених причин відхилень у роботі турбогенератора й прийняття рішень щодо подальших умов його експлуатації, тому всі складові потребують окремої діагностики, яка виявлятиме та прогнозуватиме апаратні й «метрологічні» відмови. Однак для оцінки достовірності отриманої інформації від термометрів опору, розташованих всередині турбогенератора, необхідна зупинка та демонтаж об'єкта. Через це для підвищення точності й надійності діагнозу та прогнозування утворення, шляхів і наслідків розвитку дефектів без демонтажу складових системи запропоновано дворівневий алгоритм діагностики, який дозволить виявляти відмови працездатності типу «замикання» або «обрив» у колі вимірювання та зміни у характеристиках градування термометрів опору.

Ключові слова: турбогенератор, термометри опору, температура, діагностика, багатоканальна система контролю, метрологія.

Визначення причини відхилення від штатного проходження будь-якого з процесів, що відбуваються в технічному об'єкті, зокрема у турбогенераторі (ТГ), й прийняття рішення щодо умов подальшої роботи об'єкта залежать від достовірності результатів діагностики поточного технічного стану, а також даних про значення параметрів його роботи, які надає інформаційно-вимірювальний комплекс (ІВК). Разом з тим, протягом роботи комплексу всі його складові вимірювання (контролю) параметрів об'єкта також потребують діагностики. Методики діагностики ІВК в цілому та систем, що його утворюють, повинні надавати можливість виявляти й прогнозувати не тільки апаратні, а й «метрологічні» відмови — перевищення допустимого рівня похибок вимірювань.

ІВК, за допомогою яких здійснюється контроль параметрів та управління роботою ТГ, складається з кількох багатоканальних систем вимірювання окремих параметрів машини. Абсолютно більшу частину у таких комплексах складають системи та засоби вимірювання електричних величин. Це багатоканальні системи вимірювання кількості енергії і потужності, сили струму, напруги та інших електричних величин. До складу цих систем входять ватметри, амперметри, вольтметри, частотоміри, фазометри, а також різноманітні електротехнічні пристрої, які забезпечують використання названих вимірювальних приладів — вимірювальні трансформатори струму і напруги, різного виду шунти, синхроскопи тощо.

Однією з основних систем, що забезпечують вимірювання неелектричних параметрів роботи ТГ, є багатоканальні системи контролю теплового стану основних вузлів генератора, у яких як первинні перетворювачі температури, як правило, використовують мідні термометри опору (ТОМ) [1].

Технічна діагностика і метрологічні повірки вторинної вимірювальної апаратури

Всі вторинні вимірювальні прилади й блоки ІВК, які забезпечують здійснення аналого-цифрового перетворення сигналів від первинних датчиків, первинну обробку інформації та її передачу в ЕОМ, а також прилади вимірювання електричних величин розташовані поза межами ТГ. Безпосередній доступ до них має обслуговуючий персонал. За таких умов планове чи позапланове технічне обслуговування, а також метрологічна повірка цих приладів і пристроїв не викликають особливих труднощів.

Планові роботи, як правило, виконуються після закінчення обумовленого терміну експлуатації приладу, наприклад, 1 раз на рік, або через 5000 годин його безперервної роботи. Заходи щодо обслуговування та методики повірки приладів наведені у технічній документації.

Під час позапланових робіт, які можуть бути викликані сумнівами щодо коректності роботи окремих первинних чи вторинних вимірювальних приладів або вузлів приладів, звичайно здійснюють їх заміну на нові.

Можлива також швидка бездемонтажна перевірка вторинної вимірювальної апаратури, до якої під час такої перевірки замість первинних

перетворювачів температури підключають спеціальні імітатори, які відтворюють еталонні значення сигналів первинних датчиків [2]. Такими імітаторами є набори зразкових резисторів. При цьому багатоканальна система вимірювання температури повинна надавати інформацію стосовно значень температури, які відповідають значенням опорів підключених до неї зразкових резисторів. Для реалізації такої перевірки програмне забезпечення багатоканальної системи вимірювального комплексу ТГ повинне мати спеціальну підпрограму, яка активізується на час виконання перевірки. Протягом дії цієї підпрограми забороняється проходження команд і сигналів, які свідчать про вихід значень температури основних вузлів ТГ за обумовлені межі. При цьому програма забезпечує:

- проведення зіставлення даних, що надходять від багатоканальної системи з номінальними значеннями опорів зразкових резисторів;
- формування висновку щодо працездатності вторинної апаратури системи, її ремонту або заміни на підставі аналізу результатів зіставлення вказаних вище даних.

Технічна діагностика і метрологічні повірки первинних перетворювачів температури.

Методики обслуговування й оцінки достовірності інформації, яку надають ТОМ, розташовані всередині ТГ, значно відрізняються від наведених вище методик обслуговування апаратури, що розташована зовні ТГ. Оскільки демонтаж або доступ обслуговуючого персоналу до таких ТОМ є можливим тільки у разі зупинення машини на час проведення планових ремонтних робіт, то їх технічне обслуговування й метрологічна повірка є складним завданням [3, 4].

Враховуючи це, пропонується застосовувати розроблений спосіб діагностики багатоканальної системи вимірювання температури основних вузлів ТГ, який включає у себе метрологічну повірку складових названої системи — ТОМ, що розташовані всередині ТГ.

Реалізація цього способу діагностики не передбачає зупинку машини та демонтаж термометрів опору для здійснення їх метрологічної повірки. Його впровадження у практику діагностування стану ТГ надає можливість підвищити точність і надійність діагнозу стосовно технічного стану ТГ, прогнозування утворення, шляхів і наслідків розвитку дефектів. Це дає змогу підвищити ефективність роботи систем управління роботою ТГ.

Для забезпечення надійності інформації, яку надає розроблена багатоканальна система контролю температури основних вузлів ТГ, передбачені два рівня її діагностики, які здійснюються без демонтажу складових системи — термометрів опору, розташованих всередині ТГ.

Перший рівень діагностики дозволяє виявити відмови працездатності типу «замикання» або «обрив» у колі вимірювання. Він реалізується програмно у кожному циклі обробки інформації, що надходить від первинних датчиків температури. При цьому перевіряється відповідність вимірюваного значення опору r_T вимірювальному колу температури за такою нерівністю:

$$r_{\min} \leq r_T \leq r_{\max} \quad (1)$$

Межові чисельні значення опорів r_{\min} та r_{\max} термометрів обираються за умовою, що відповідна їм температура не може бути досягнута у ТГ навіть при аварійних режимах.

Якщо значення вимірюного ТОМ менше встановленого рівня r_{\min} , то це свідчить про повне або часткове замикання електричного кола вимірювання температури.

Якщо значення вимірюного опору ТОМ більше встановленого рівня r_{\max} , то це свідчить про обрив у колі вимірювання або втрати струму кола.

Застосування другого рівня діагностики багатоканальної системи контролю температури основних вузлів ТГ дозволяє виявити зміни у характеристиках градування термометрів опору (залежностях $r_T = f(T)$), які можуть виникнути протягом експлуатації системи і компенсувати ці зміни шляхом отримання нових характеристик градування первинних перетворювачів температури.

Враховуючи, що характеристики градування ТОМ змінюються повільно, то застосовувати другий рівень діагностування багатоканальної системи контролю температури пропонується через відносно великі проміжки часу. Наприклад, один раз на місяць або через 500 годин роботи системи.

Принципово [5], що всі відомі методики бездемонтажної перевірки термометрів опору зводяться до побудови їх градувальних характеристик на підставі вимірювання напруги вимірювального кола за мостовою схемою під час дії у колі імпульсу електричного струму із суворо заданою (еталонною) амплітудою.

Ми пропонуємо безпосередньо вимірювати опір перетворювача температури та, використовуючи обчислювальні можливості ІВК, визначати необхідні метрологічні характеристики ТОМ.

Унаслідок дії електричного імпульсу прямокутної форми так звана температура перегріву ΔT матеріалу ТОМ (різниця між температурою ТОМ у певний момент дії електричного імпульсу й температурою термометра до початку дії імпульсу) змінюється у часі за законом параболи (рис. 1) і може бути розрахована за формулою:

$$\Delta T = \frac{2 \cdot r \cdot I^2}{\lambda \cdot F} \cdot \sqrt{\frac{a \cdot \tau}{\pi}}, \quad (2)$$

де ΔT — температура перегріву кожного з n термометрів опору, $n = 1, 2, 3 \dots n$, які розташовані у турбогенераторі; I — сила струму; r — електричний опір термометра опору; F , λ та a — площа контакту термометра опору з діелектричною підкладкою, коефіцієнти теплопровідності й температуро-провідності діелектричної підкладки; τ — час.

При проведенні перевірки термометр опору може бути включений у мостову схему, або, як це реалізовано у багатоканальній системі контролю температури основних вузлів ТГ, здійснюється комп'ютерне оброблення отриманої вимірювальної інформації за спеціальної програмою. При цьому вважається, що інформативна частка спаду напруги на термометрі опору буде пропорційна температурі термометра.

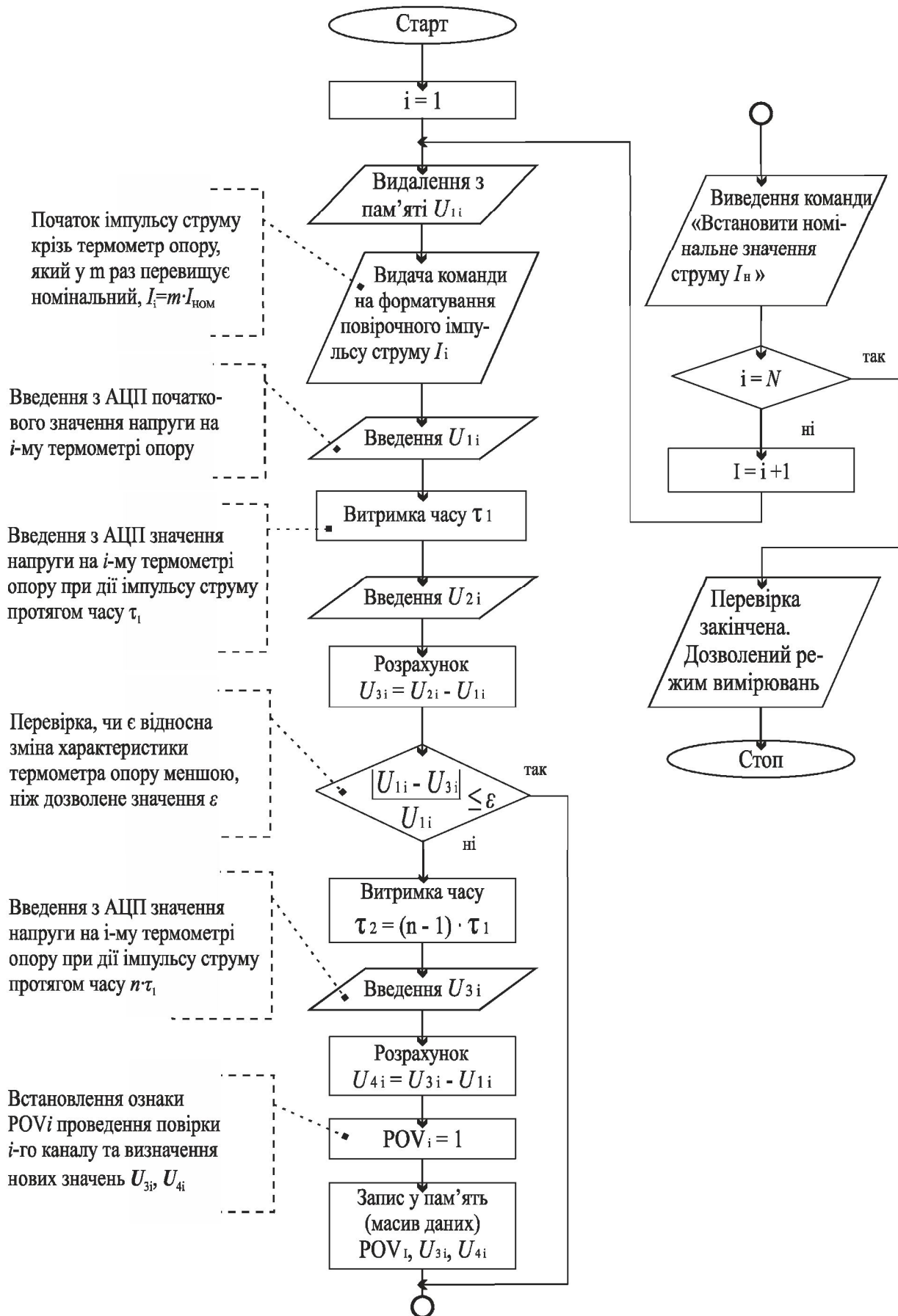


Рис. 1. Кінетика температури матеріалу термометра опору внаслідок дії прямокутного імпульсу електричного струму

Під інформативною часткою U_i ($i = 1, 2, 3 \dots n$) вимірної напруги U_T , слід розуміти напругу, розраховану за рівнянням, одержаним у результаті перетворення лінійної залежності величини електричного опору матеріалу від температури:

$$r_T = r_0(1 - \alpha \cdot T); \quad (3)$$

$$r_T \cdot I = r_0 \cdot I(1 + \alpha \cdot T) = r_0 \cdot I + \alpha \cdot T \cdot r_0 \cdot I; \quad (4)$$

$$U_T = U_0 + U_i; \quad (5)$$

$$U_i = U_T - U_0 = \alpha \cdot T \cdot r_0 \cdot I. \quad (6)$$

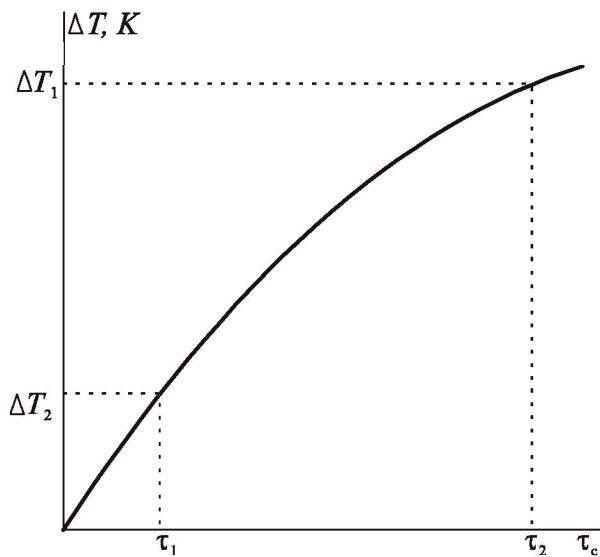


Рис. 2. Кінетика температури матеріалу термометра опору

На рис. 1 пряма *A* є первинною (базовою) залежністю інформативної частки спаду напруги на ТОМ від температури термометра (середовища). Якщо у коло термометра опору подати імпульс електричного струму з силою в *m* разів більшою за нормативний струм живлення при вимірюваннях, то на час дії імпульсу струму чутливість термометра опору збільшиться у *m* разів. У підсумку, пряма *B* на (рис. 1) буде мати в *m* разів більший тангенс кута нахилу до осі абсцис, ніж пряма *A*. Унаслідок дії імпульсу електричного струму буде змінюватися температура перегріву термометра опору i , відповідно, величина опору термометра. При

цьому інформативна частка спаду напруги U_1 на термометрі опору буде пропорційна температурі перегріву ТОМ.

Зафіксувавши інформативну частку U_1 від величини вимірної напруги на момент часу τ_1 дії імпульсу струму, отримуємо точку на характеристиці *B* при ΔT_1 та U_1 . За таких умов базова

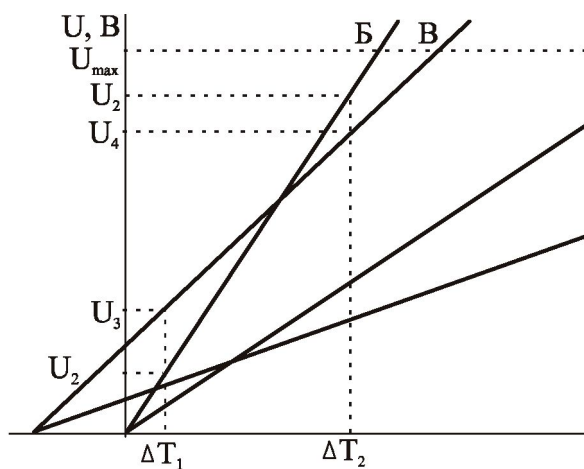


Рис. 3. Градувальні характеристики мідного термометра опору

пряма *A* може бути описана рівнянням:

$$U_{(A)} = U_1 \cdot \Delta T / (m \cdot \Delta T_1). \quad (7)$$

Якщо для перевірки термометра опору, через певний час експлуатації, у вимірювальне коло буде поданий імпульс електричного струму i на момент часу τ_1 інформативна частка спаду напруги U_3 не буде дорівнювати U_1 , тобто $U_3 \neq U_1$, то це означатиме, що градувальна характеристика термометра зазнала зміни і не

відповідає прямій A . Для отримання математичного опису зміненої градууювальної характеристики термометра — прямої B на рис. 2, при силі струму I_i , потрібно мати координати ще однієї точки на прямій B . Для цього визначають інформативну частку U_4 спаду напруги у момент часу τ_2 дії імпульсу електричного струму. При $\tau_2/\tau_1=n$, з рівняння прямої A , з використанням інформації про чисельні значення U_3 і U_4 отримуємо рівняння прямих B та Γ (рис. 1):

$$\frac{U_{(B)} - U_3}{U_3 - U_4} = \frac{\Delta T - \Delta T_1}{\Delta T_1 - \Delta T_2} = \frac{\Delta T / \Delta T_1 - 1}{1 - \sqrt{n}}; \quad (8)$$

$$U_{(B)} = \frac{\Delta T}{\Delta T_1} \cdot \frac{U_4 - U_3}{\sqrt{n} - 1} + \frac{\sqrt{n} \cdot U_3 - U_4}{\sqrt{n} - 1}; \quad (9)$$

$$U_{(\Gamma)} = \frac{\Delta T}{m \cdot \Delta T_1} \cdot \frac{U_4 - U_3}{\sqrt{n} - 1} + \frac{U_3 \sqrt{n} - U_4}{m(\sqrt{n} - 1)}. \quad (10)$$

З рівнянь розрахунків прямих A , B і Γ отримуємо рівняння, за яким можна розраховувати скореговане значення інформативної частки спаду напруги:

$$\begin{aligned} U_{(A)} &= \left[U_{(\Gamma)} - \frac{U_3 \sqrt{n} - U_4}{m(\sqrt{n} - 1)} \right] \cdot \frac{U_1(\sqrt{n} - 1)}{(U_4 - U_3)} = \\ &= \frac{U_1}{m \cdot (U_4 - U_3)} \cdot \left[U_{(\Gamma)} \cdot m(\sqrt{n} - 1) - U_3 \sqrt{n} + U_4 \right]. \end{aligned} \quad (11)$$

Визначати температуру вузла ТГ можна за базовою градууювальною характеристикою термометра опору.

На підставі викладеного запропоновані алгоритми метрологічної перевірки ТОМ, який знаходиться у середині ТГ, без зупинки машини та вимірювання температури основних вузлів ТГ (рис. 3). Другий рівень діагностики багатоканальної системи вимірювання температури основних вузлів ТГ пропонується здійснювати за такою методикою: 1. На початковому етапі експлуатації ІВК: отримують базові градууювальні характеристики для кожного термометра багатоканальної системи вимірювання температури; визначають інформативні частки напруг U_1 і U_2 у кожному вимірювальному колі системи на моменти часу τ_1 і τ_2 при дії електричного імпульсу з силою струму I_i , що в m разів перевищує номінальний вимірювальний струм. 2. При експлуатації ІВК для здійснення перевірки термометрів опору в їх вимірювальні кола подаються імпульси електричного струму I_i , фіксуються інформативні частки спадів напруги і перевіряється їх відповідність встановленим значенням U_1 і U_2 .

Якщо виміряні значення відповідають значенням, які збережені у пам'яті комп'ютера, то вважається, що параметри ТОМ не змінилися і при проведеннях вимірювань обробка інформації проводиться на підставі базових градууювальних характеристик. Якщо ж виміряні значення не відповідають збереженим значенням, то в пам'ять заносяться нові значення U_3 та U_4 , а також встановлюється ознака $POV_i=1$, що сигналізує про необхідність врахування зміни градууювальної характеристики ТОМ.

Якщо ж градувальна характеристика ТОМ змінилася ($POV_i=1$), то визначають відкориговане значення інформативної частки спаду напруги за рівнянням (11), а за ним розраховують значення відповідної температури.

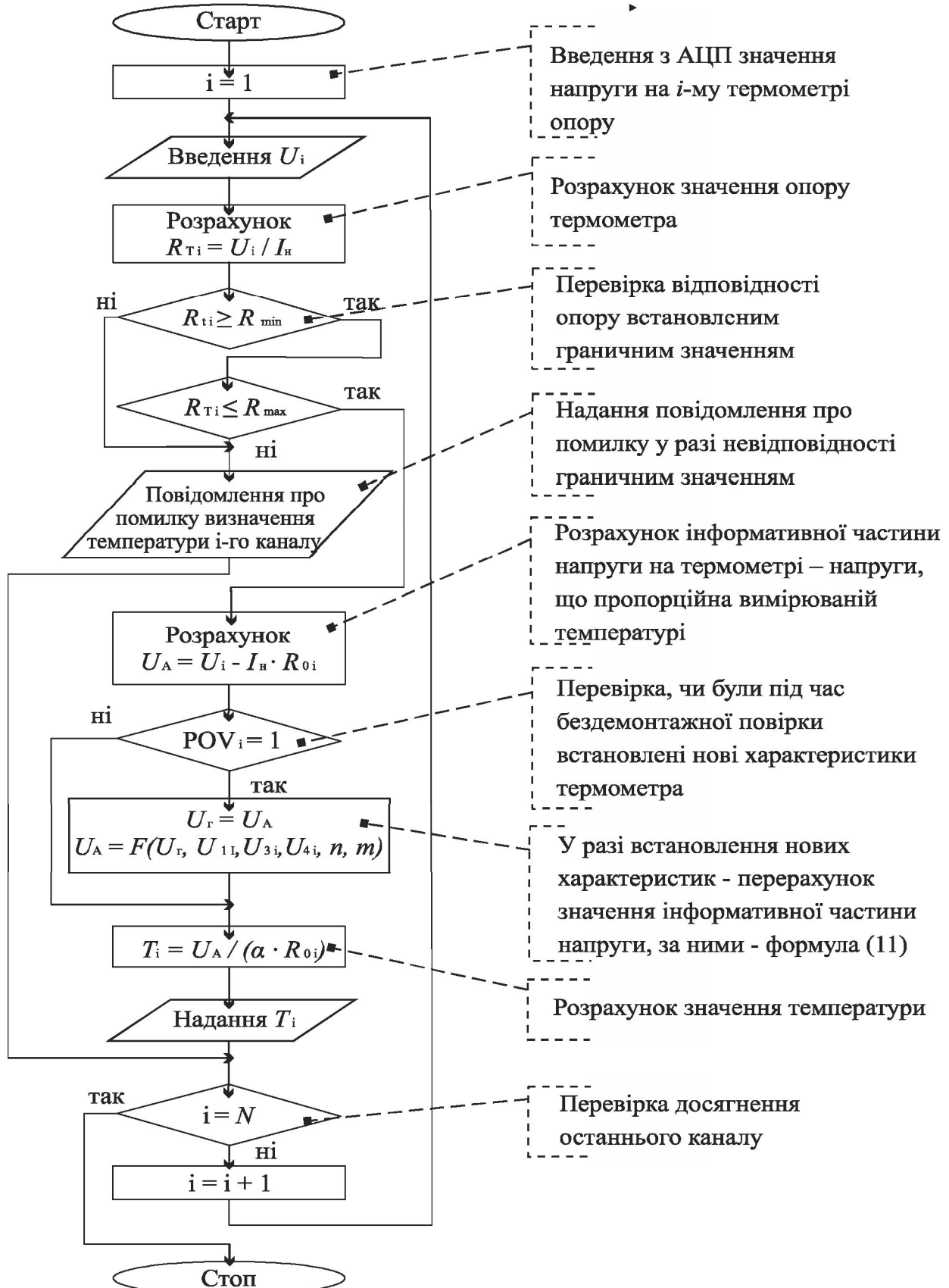


Рис. 3. Алгоритм вимірювання температури вузла ТГ

3. При проведенні вимірювань під час експлуатації ІВК вимірюють напругу на кожному ТОМ і розраховують його електричний опір, перевіряють відповідність опору встановленим межам, визначають інформативну частку спаду напруги, а потім перевіряють значення ознаки POV_i . Якщо градувальна характеристика ТОМ не змінилася ($POV_i \neq 1$), то визначення температури проводять без корегування інформативної частки спаду напруги у вимірювальному колі. При проведенні повірок багатоканальної системи вимірювання температури основних вузлів турбогенератора значення інформативних часток $U_1 \dots U_4$ вимірних спадів напруг для кожного каналу системи зберігаються у пам'яті комп'ютера.

Висновки

Системи, з яких складаються інформаційно-вимірювальні комплекси контролю параметрів роботи турбогенераторів, у тому числі й багатоканальні системи контролю теплового стану турбогенераторів, потребують застосування методів технічної діагностики, які дозволяють виявляти та прогнозувати не тільки її апаратні відмови, а також виявляти і виправляти зміну метрологічних характеристик первинних перетворювачів температури. Запропоновано спосіб, який дозволяє здійснювати діагностику багатоканальної системи вимірювання температури основних вузлів турбогенератора та метрологічну повірку термометрів опору, у тому числі й тих, що розташовані всередині турбогенератора, без зупинки роботи машини. Застосування на практиці запропонованого способу діагностики багатоканальної системи вимірювання температури та метрологічної повірки термометрів опору надає можливість підвищити точність діагностики робочого стану турбогенератора та ефективність системи керування роботою машини.

Література

1. Самсонов В.В. Використання системи «МАСІТ» для оперативного контролю температурного поля працюючого генератора / В.В. Самсонов, О.О. Мазуренко, В.О. Шуліка, Л.Й. Воробйов // Наукові праці НУХТ. — 2013. — № 51. — С.8—16.
2. Степанченко И.В. Методы тестирования программного обеспечения: Учебное пособие / И.В. Степанченко. — Волгоград: ВолгГТУ, 2006. — 74 с.
3. Алексеев Б.А. Определение состояний (диагностика) крупных турбогенераторов / Алексеев Б.А. — М.: НЦ ЭНАС, 2001. — 152 с.
4. Вольдек А.И. Электрические машины. Машины переменного тока / А.И. Вольдек, В.В. Попов. — СПб.: 2010. — 352 с.
5. А.С. 684341 СССР. Способ поверки терморезисторов поверки терморезисторов. П.В. Новицкий, Б.С. Уткин. — Опубл. 05.09.1979. Б.И. №33.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА МНОГОКАНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ ТУРБОГЕНЕРАТОРА

О.О. Мазуренко, В.В. Самсонов

Национальный университет пищевых технологий

От полученных результатов систем диагностики и информационно-измерительного комплекса зависит достоверность определяемых причин

отклонений в работе турбогенератора и принятия решений относительно дальнейших условий его эксплуатации, поэтому все составляющие требуют отдельной диагностики, которая будет выявлять и прогнозировать аппаратные и «метрологические» отказы. Но для оценки достоверности полученной информации от термометров сопротивления, расположенных внутри турбогенератора, необходима остановка и демонтаж объекта, поэтому для повышения точности и надежности диагноза и прогнозирования образования, путей и последствий развития дефектов без демонтажа составляющих систем предложено двухуровневый алгоритм диагностики, который позволит выявлять отказы работоспособности типа «замыкания» или «обрыв» в кругу измерения и изменения в характеристиках градуировки термометров сопротивления.

Ключевые слова: турбогенератор, термометры сопротивления, температура, диагностика, многоканальная система контроля, метрология.