

РОЗРАХУНОК КОМПЛЕКСНИХ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ОБЛАДНАННЯ

У сучасному індустріальному середовищі автоматизовані системи моніторингу обладнання відіграють важливу роль у забезпеченні ефективності та безпеки технологічних процесів. Однак, забезпечення надійності цих систем вимагає ретельного розрахунку комплексних показників. Дослідження зосереджені на розробці методологій та алгоритмів для обчислення надійності автоматизованих систем моніторингу.

У статті виконаний огляд комплексних показників надійності автоматизованої системи моніторингу обладнання. Перш за все, робота визначає критичні компоненти системи, оцінює їхню надійність та взаємодію. Методи аналізу надійності включають у себе елементи теорії ймовірностей та математичної статистики. Серед них - розрахунок середнього часу безвідмовної роботи, ймовірності відмови та інші критерії, що дозволяють оцінити функціонування системи в реальних умовах. Відповідно до нормативних документів сформовано перелік показників надійності для обладнання та системи моніторингу в цілому. Приведена методика розрахунку комплексних показників надійності автоматизованої системи моніторингу. Наведений приклад розрахунку інтенсивності відмов та комплексних показників надійності для аналогового вимірювального каналу автоматизованої системи моніторингу обладнання. На прикладі розрахунку показано розрахункові інтенсивності відмов компонентів розрахункового аналогового каналу та сумарне напрацювання на відмову.

Отже, дослідження зосереджене на розробці та оптимізації методів розрахунку комплексних показників надійності автоматизованих систем моніторингу обладнання, що сприяє покращенню їх функціональності та забезпечує ефективний контроль технічних процесів в промислових умовах.

Ключові слова: автоматизована система, комплекс технічних засобів, програмно технічний комплекс, напрацювання на відмову, надійність, інтенсивність відмов, комплексні показники надійності.

Автоматизована система моніторингу обладнання призначена для здійснення консолідації і збору технологічної інформації від обладнання та інших автоматизованих систем на підстанції, уніфікації, зберігання і забезпечення можливості інформаційної взаємодії з суміжними системами і верхнім рівнем системи. При розробці заходів по забезпеченню надійності автоматизованої системи моніторингу обладнання враховуються елементи системи, відмови яких впливають на збір, обробку та передачу даних на верхній рівень та суміжним системам.

Відмовою автоматизованої системи моніторингу обладнання є втрата (неотримання) інформації на будь-якому рівні, при взаємодії окремих компонентів системи між собою або з зовнішніми системами, а також втрата технологічної інформації, що зберігається на будь-якому рівні ієрархії системи. Критерієм відмови є ненадання інформації зацікавленим сторонам.

В якості показників надійності прийнято використовувати середній час напрацювання на відмову по кожній функції, а також розрахункові коефіцієнт готовності K_G та коефіцієнт технічного використання $K_{ТВ}$.

Автоматизована система моніторингу обладнання виконується з підвищеною надійністю і задовольняє наступні показники надійності:

- середня ймовірність неспрацьовування за рік не більше ≥ 8760 год;
- параметр потоку помилкових спрацьовувань на годину не більше $5 \cdot 10^{-6}$.

Показниками апаратної надійності комплексу технічних засобів (КТЗ), що використовуються в системі моніторингу обладнання, є середнє напрацювання на відмову і середній час відновлення пристроїв, які реалізують функції моніторингу. Значення цих показників наведені в табл. 1.

Розглянемо показники надійності обладнання системи моніторингу, відповідно до [1-3]:

Показники надійності вимірювальних трансформаторів струму (ТС) і напруги (ТН):

- середній термін служби - не менше 25 років;
- середнє напрацювання на відмову T_0 не менше 300 000 год.

Показники надійності для контролерів приєднання :

- середнє напрацювання на відмову T_0 не менше 100 000 год;
- середній час відновлення $T_в$ не більше 24 год.

Показники надійності для засобів локальної обчислювальної мережі (сервери, комутатори, маршрутизатори, контролери комунікацій) :

- середнє напрацювання на відмову T_0 не менше 150 000 год;

- середній час відновлення T_v не більше 6 год.
- Показники надійності каналоутворюючої апаратури (конвертори, модеми, мультиплексори):
- середнє напрацювання на відмову - не менше 100 000 год;
- середній час відновлення - не більше 6 год.
- Показники надійності джерел безперебійного живлення:
- середнє напрацювання на відмову - не менше 50 000 год;
- середній час відновлення - не більше 6 год.

Таблиця 1 – Показники надійності функцій АС моніторингу

№	Функція, формулювання відмови	Середнє напрацювання на відмову, год, не	Середній час відновлення, год, не більше
1	Збирання і первинна обробка аналогової інформації:		
	відмова одного каналу;	8760	≤6
	одночасний відмова всіх каналів;	87600	≤6
2	Збирання і первинна обробка дискретної інформації:		
	відмова одного каналу;	8760	≤6
	одночасна відмова всіх каналів;	87600	≤6

В якості показників надійності програмного забезпечення системи моніторингу слід використовувати інтенсивність перезапущів (перезавантажень). Оцінку значень інтенсивності і тривалості перезапущів (перезавантажень) програмного забезпечення слід робити за результатами спостереження за роботою системи під час дослідної експлуатації.

При виконанні планових (профілактичних) робіт на обладнанні системи моніторингу надійність системи не знижується. Цілісність і коректність інформації системи зберігаються при відключенні електроживлення, при виявленні відмов компонентів, що входять в систему. Необхідне забезпечення вільного доступу до окремих блоків системи для контролю їх працездатності і заміни.

Для підтвердження заданих показників надійності проводиться розрахунок надійності системи моніторингу. Відмова одного змінного елемента програмно технічного комплексу (ПТК) або каналу зв'язку не призводить до необхідності зниження навантаження, зупинки або відключення обладнання.

Висока надійність системи моніторингу забезпечується при:

- пошкодженні всіх кабелів, що йдуть в одному потоці, каналі, тунелі – географічно рознесеними трасами основного і резервного каналу;
- пошкодженні одного з кабелів резервованої системної шини – кільцевою топологією мережі;
- повної втрати електропостачання з боку змінного/постійного струму – системою гарантованого живлення;
- системи власних потреб – системою гарантованого живлення;
- пошкодженні будь-якого з одиночних елементів апаратури ПТК – наявністю комплекту запасних частин, інструментів, приладдя (ЗІП).

Перераховані вимоги до надійності забезпечені відповідним вибором і розробкою сукупності технічних, програмних та інформаційних засобів і регламентом їх обслуговування.

Для оцінки комплексних показників надійності системи моніторингу приведемо розрахунок для аналогового каналу струму I_a . Розрахунок виконується за наступними формулами (1-3):

$$\lambda_i = \frac{1}{\tau_i}, \quad (1)$$

де λ_i – інтенсивність відмови i -го елемента системи; τ_i – середній час напрацювання на відмову i -го елемента системи;

$$\lambda_i = \sum \lambda_i, \quad (2)$$

де λ_i – інтенсивність відмови системи.

$$\tau = \frac{\sum \lambda_i \cdot \tau_i}{\lambda}, \quad (3)$$

де τ_i – середній час відновлення i -го елемента системи; τ – середній час відновлення системи.

Середній час напрацювання на відмову системи визначається за формулою (4):

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda}, \quad (4)$$

Середній та верхній рівні включають в себе серверне обладнання, комунікаційну апаратуру та обладнання зв'язку. Середній та верхній рівні з точки зору надійності розглядається як паралельно-послідовне з'єднання вищезгаданих елементів.

Для послідовних ділянок системи розрахунок виконується за формулами (1-4).

Для паралельних ланок системи розрахунок виконується за формулою (5):

$$\lambda = \frac{\lambda_1 \cdot \lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2}, \quad (5)$$

де λ_1, λ_2 – інтенсивності відмови взаєморезервованих елементів; λ – інтенсивність відмови системи.

Розглянемо схему формування аналогового сигналу I_a . Аналоговий сигнал від ТС через реєстратор аварійних подій (РАП) та комутатори поступає на сервер. РАП обробляє аналоговий сигнал (перетворює, ранжує за ознаками, виділяє гармонічні складові і т.д.) для подальшої обробки та зберігання на сервері (формування баз даних, відображення на АРМ, ретрансляція).

Розрахункова схема надійності формування аналогового сигналу I_a представлена на рис. 1

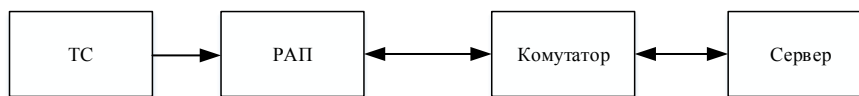


Рисунок 1 – Розрахункова схема надійності аналогового сигналу I_a

Інтенсивність відмов каналу виміру струму фази А визначається співвідношенням (6):

$$\lambda_{Ia} = \lambda_{ТС} + \lambda_{РАП} + \lambda_{КОМ} + \lambda_{СРВ}, \quad (6)$$

Під каналом вимірювання струму фази А розуміють: збір, оброблення, зберігання, відображення, аналіз на достовірність, аналіз виходу за межі попереджувальних/аварійних уставок, обмін інформацією з приладами середнього/верхнього рівня системи, суміжними системами на підстанції, передача інформації на вищі рівні управління і т.д.

Час напрацювання на відмову каналу вимірювання струму фази А визначається співвідношенням (7):

$$T_{0(Ia)} = \frac{1}{\lambda_{(Ia)}}, \quad (7)$$

Середній час напрацювання на відмову $T_0(T_{cp})$ обладнання, що бере участь у формуванні і передачі аналогового сигналу представлений в табл. 2.

Таблиця 2 – Результати розрахунку інтенсивності відмов для аналогового каналу I_a

Склад обладнання	$T_0(T_{cp})$, год	$\lambda_0(cp)$, год ⁻¹
Трансформатор струму	300000	$\frac{1}{300000} = 3,33 \cdot 10^{-6}$
РАП	87600	$\frac{1}{87600} = 1,14 \cdot 10^{-5}$
Комутатор	150000	$\frac{1}{150000} = 6,66 \cdot 10^{-6}$
Сервер АС	150000	$\frac{1}{150000} = 6,66 \cdot 10^{-6}$
Сумарна інтенсивність відмов $\Sigma\lambda_{(Ia)}$, год⁻¹		$2,8 \cdot 10^{-5}$
Сумарне напрацювання на відмову $\Sigma T_{0(Ia)}$, год		35714

Комплексними показниками надійності є коефіцієнт готовності та коефіцієнт технічного використання. Комплексні показники надійності, на відміну від одиничних, характеризують одночасно кілька властивостей суб'єктів.

Коефіцієнт готовності – це ймовірність того, що об'єкт виявиться працездатним у довільний момент часу, крім запланованих періодів, протягом яких використання об'єкта за призначенням не передбачається.

Згідно із [1] середній час усунення несправності, виявленої засобами діагностування, становить не більше $\tau = 6$ год.

Коефіцієнт готовності визначається за формулою (8):

$$K_G = \frac{T_{CP}}{T_{CP} + \tau}, \quad (8)$$

$$K_G = \frac{35714}{35714+6} = 0,9998$$

Коефіцієнт технічного використання – це відношення математичного сподівання часу перебування об'єкта в працездатному стані за певний період експлуатації до суми математичних сподівань часу перебування об'єкта в працездатному стані; часу простоїв, обумовлених технічним обслуговуванням, і часу ремонту за той же період експлуатації, тобто характеризує фактичний термін роботи машини:

Коефіцієнт технічного використання визначається за формулою (9):

$$K_{TB} = \frac{T_O}{T_O + \tau + T_{TO}}, \quad (9)$$

де T_O – період працездатного стану; T_{TO} – період технічного обслуговування, $T_{TO} = 40$ год.

$$K_{TB} = \frac{8760}{8760+6+40} = 0,9947$$

Отримані результати розрахунків коефіцієнту готовності та коефіцієнту технічного використання підтверджують високу надійність КТЗ автоматизованих систем моніторингу обладнання, що в свою чергу створює значний вплив на надійність системи моніторингу в цілому. Слід також зазначити, що високий рівень надійності автоматизованих систем також досягається шляхом впровадження сучасних технологій так званого «безшовного» резервування PRP (Parallel Redundancy Protocol) та HSR (High-availability Seamless Redundancy) [4].

Список використаної літератури

1. Стандарт підприємства. Технічна політика НЕК Укренерго у сфері розвитку та експлуатації магістральних та міждержавних електричних мереж. СОУ НЕК 20.261:2023
2. Трансформатори вимірювальні. Частина 2. Додаткові вимоги до трансформаторів струму (EN 61869-2:2012, IDT; IEC 61869-2:2012, IDT). ДСТУ EN 61869-2:2017
3. Трансформатори вимірювальні. Частина 5. Додаткові вимоги до ємнісних трансформаторів напруги (EN 61869-5:2011; EN 61869-5:2011/AC:2015, IDT; IEC 61869-5:2011, IDT). ДСТУ EN 61869-5:2017
4. IEC 62439-3:2021 Industrial communication networks - High availability automation networks - Part 3: Parallel Redundancy Protocol (PRP) and High-availability Seamless Redundancy (HSR).

CALCULATION OF COMPLEX RELIABILITY INDICATORS OF THE AUTOMATED EQUIPMENT MONITORING SYSTEM

In the modern industrial environment, automated equipment monitoring systems play an important role in ensuring the efficiency and safety of technological processes. However, ensuring the reliability of these systems requires careful calculation of complex indicators. Research is focused on the development of methodologies and algorithms for calculating the reliability of automated monitoring systems.

The article provides an overview of the comprehensive reliability indicators of the automated equipment monitoring system. First of all, the work defines the critical components of the system, evaluates their reliability and interaction. Reliability analysis methods include elements of probability theory and mathematical statistics. Among them is the calculation of the average time of failure-free operation, the probability of failure and other criteria that allow evaluating the functioning of the system in real conditions. In accordance with regulatory documents, a list of reliability indicators for equipment and the monitoring system as a whole has been created. The methodology for calculating complex indicators of the reliability of the automated monitoring system is given. An example of failure intensity calculation and complex reliability indicators for an analog measuring channel of an automated equipment monitoring system is given. The calculation example shows the estimated failure intensities of the components of the calculated analog channel and the total working time per failure.

Therefore, the research is focused on the development and optimization of methods for calculating complex indicators of the reliability of automated equipment monitoring systems, which helps to improve their functionality and ensures effective control of technical processes in industrial conditions.

Keywords: *automated system, complex of technical means, software and technical complex, working up to failure, reliability, intensity of failures, complex indicators of reliability.*

References

1. Enterprise standard. Technical policy of NPC Ukrenergo in the field of development and operation of trunk and interstate electric networks. SOU NPC 20.261:2023
2. Measuring transformers. Part 2. Additional requirements for current transformers (EN 61869-2:2012, IDT; IEC 61869-2:2012, IDT). DSTU EN 61869-2:2017
3. Measuring transformers. Part 5. Additional requirements for capacitive voltage transformers (EN 61869-5:2011; EN 61869-5:2011/AC:2015, IDT; IEC 61869-5:2011, IDT). DSTU EN 61869-5:2017
4. IEC 62439-3:2021 Industrial communication networks - High availability automation networks - Part 3: Parallel Redundancy Protocol (PRP) and High-availability Seamless Redundancy (HSR).

Надійшла: 28.03.2024

Received: 28.03.2024