

оцінювання залишкового ресурсу двигуна, передбачення часу до настання критичного стану та оптимізація регламентів обслуговування. Перехід до концепції предиктивного обслуговування (Predictive Maintenance) дозволяє знизити ймовірність аварійних відмов, скоротити простій обладнання та мінімізувати фінансові втрати підприємства.

Сучасні діагностичні системи можуть функціонувати автономно або інтегруватися у складі автоматизованих систем управління технологічними процесами. Вони підтримують дистанційний моніторинг, віддалений аналіз даних, формування звітів та автоматичне сповіщення про небезпечні відхилення. Використання таких систем підвищує рівень цифровізації виробництва та забезпечує інтелектуальний контроль технічного стану обладнання.

Отже, системи діагностики та прогнозування відмов асинхронних електродвигунів є ключовими засобами підвищення надійності електроприводів, оптимізації технічного обслуговування та розвитку сучасних інтелектуальних виробничих технологій.

УДК 621.382

**Р.І. Шинькар; Я.М. Осадца, канд. техн. наук, доц.**

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

## **МОДЕЛІ ОЦІНЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ СВІТЛОДІОДНИХ СИСТЕМ ОСВІТЛЕННЯ**

**R.I. Shynkar; Ya.M. Osadtsa, Ph.D., Assoc. Prof.**

**MODELS FOR ASSESSING THE RELIABILITY OF LED LIGHTING SYSTEMS**

Світлодіодні системи освітлення (LED-системи) в теперішній час є ключовими елементами в створенні світлового мікроклімату приміщень виробничих та адміністративних будівель, споруд різного призначення та зовнішнього навколишнього простору населених пунктів. Такі переваги світлодіодів, як вища енергоефективність, довговічність та екологічність дозволяє застосовувати їх в системах освітлення практично будь-якого призначення. Проте, фактичний ресурс їх роботи суттєво залежить від комплексної взаємодії електричних, теплових та оптичних процесів, а також від умов експлуатації. Тому оцінка надійності LED-систем є важливою науково-прикладною задачею, що дозволяє прогнозувати деградаційні процеси та забезпечувати необхідний рівень працездатності протягом заданого терміну служби.

Основним чинником деградації світлодіодів є перевищення допустимих температур р-п переходу, що прискорює хімічні процеси в активній області та люмінофорному шарі. Теплова нестабільність призводить до зменшення світлового потоку, зміни спектральних характеристик, збільшення прямої напруги та прискореного старіння контактних з'єднань. Тому при оцінці надійності важливим є моделювання теплових режимів та визначення температурних полів у LED-модулях.

Для прогнозування ресурсу широко застосовується модель Арреніуса, яка описує залежність швидкості деградації від температури. На її основі виконують екстраполяцію результатів випробувань за підвищених температур згідно стандартів LM-80 та TM-21. На основі цієї моделі визначають характеристики L70 та L90, які використовуються як стандартні критерії надійності LED-систем. Узагальнена формула для визначення часу до досягнення граничного рівня деградації має вигляд [3]:

$$\Phi(t) = \Phi_0 \cdot e^{-\alpha \cdot t}$$

де  $\Phi(t)$  – світловий потік у момент часу  $t$ ;

$\Phi_0$  – початковий світловий потік,

$\alpha$  – деградаційний параметр, який визначається експериментально. –

Окрім температурних впливів, важливу роль відіграють струмові перевантаження, пульсації живлення, механічні навантаження та умови навколишнього середовища (вологість, пил, хімічно активні речовини). Сукупний вплив цих факторів може бути описаний у рамках багатофакторного підходу до оцінки надійності, де загальний показник надійності системи визначається як функція окремих незалежних і взаємозалежних параметрів.

З метою забезпечення стабільної роботи LED-систем доцільним є застосування комплексного підходу, що включає оптимізацію тепловідведення, використання драйверів зі зниженим рівнем пульсацій, підбір матеріалів з високою термостійкістю, моделювання довготривалих режимів та виконання прискорених випробувань. Такий підхід дозволяє підвищити прогнозовану довговічність LED-модулів і мінімізувати ризики відмов.

**Висновок.** Проведений аналіз показує, що оцінка надійності світлодіодних систем повинна базуватися на комплексному врахуванні температурних режимів, електричних навантажень та умов експлуатації. Застосування математичних моделей деградації, зокрема екстраполяційних методів за стандартами LM-80 та TM-21, дозволяє отримати достовірні прогнози.

### Література

1. Narendran N., Gu Y. Life of LED-Based White Light Sources. *Journal of Display Technology*, 2005, vol. 1, no. 1, pp. 167–171.
2. Tsao J. Y., Saunders H. D., Creighton J. R. et al. Solid-State Lighting: An Energy-Economics Perspective. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 2010, vol. 43, 354001.
3. Mills K., Narendran N. Long-Term Lumen Maintenance of White LEDs. *Lighting Research & Technology*, 2012, vol. 44, no. 2, pp. 223–232.
4. LM-80-15. Measuring Lumen Maintenance of LED Light Sources. Illuminating Engineering Society (IES), 2015.
5. TM-21-19. Projecting Long-Term Lumen Maintenance of LED Light Sources. Illuminating Engineering Society (IES), 2019.
6. Hevko R., Dovbush T., Khomyk N. Analysis of Thermal Processes in LED Modules. *Scientific Journal of TNTU*, 2020, no. 2, pp. 45–52.
7. Довбуш Т. А., Хомик Н. І., Бабій А. В. Дослідження теплових режимів світлодіодних модулів. *Вісник ТНТУ*, 2021, №3, с. 72–79.