

УДК 621.313.333

## АНАЛІЗ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ КРИВИХ ЗМІНЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН

Квітка С. О., к.т.н.

[sergei.kvitka1965@gmail.com](mailto:sergei.kvitka1965@gmail.com)

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного,  
м. Мелітополь*

**Актуальність та постановка проблеми.** Вмикання, змінювання навантаження та відключення електричних машин веде до змінювання величин теплових втрат і, отже, їхнього теплового стану. Електричні машини, як і будь-які інерційні системи не можуть миттєво змінити тепловий стан, і процес змінювання температурного поля протікає в часі в залежності від режиму роботи і величин власних теплоємностей. Тому, питання розрахунку теплового стану електричних машин є ключовим питанням їх працездатності в цілому [1-5].

**Основні матеріали дослідження.** Увага до нестационарних процесів нагрівання електричних машин зростає з підвищенням ступеня їх використання, оскільки абсолютні швидкості змінювання температури підвищуються зі збільшенням питомих теплових навантажень, а інтенсифікація системи охолодження сприяє зменшенню теплової інерційності активних частин.

Аналіз опублікованих робіт дозволяє охарактеризувати стан проблеми визначення нестационарних теплових полів в електричних машинах. Насамперед воно характеризується раціональним поєднанням експериментальних та розрахунково-теоретичних методів дослідження.

Дані експериментальних досліджень дозволяють отримати конкретні кількісні та якісні характеристики процесів, що протікають, які є вихідними для подальших наукових досліджень і служать для них критерієм.

Теоретичні дослідження використовують різні методи математичного та фізичного моделювання аналізованих процесів. Моделювання полягає у заміні всього досліджуваного явища або окремих його елементів - моделлю у вигляді математичного опису або фізичного об'єкта, за своїми властивостями тією чи іншою мірою відтворюючої властивості природи.

Постановку задачі перенесення тепла та її вирішення можна умовно поділити на кілька етапів. Перший етап полягає у вивченні роботи електричної машини, її окремих частин та областей. При цьому виділяються найбільш напружені елементи конструкції та області, що характеризують тепловий стан машини.

На другому етапі встановлюються характерні особливості конструкції та інші чинники, що визначають процес теплопередачі.

Третій етап полягає у математичному описі фізичних явищ, складанні основних і додаткових рівнянь та встановленням умов однозначності. Вже на цьому етапі повинні враховуватися необхідна точність результатів і доцільність використання тих чи інших методів.

Четвертий етап полягає у виборі методу вирішення математичного завдання та його реалізації. Вибору способу рішення слід приділити особливу увагу, оскільки від цього залежатиме не тільки точність результатів, але й трудомісткість рішення.

П'ятий етап полягає у перевірці та аналізі отриманих результатів.

Слід зазначити, що жодні надточні та складні математичні методи не забезпечать потрібну правильність отриманого рішення, якщо вихідна інформація про теплофізичні

параметри та функції втрат містять грубі наближення. У зв'язку з цим необхідно мати достовірні вихідні дані, що визначаються за результатами проведених досліджень, і при відпрацюванні методик розрахунку проводити експериментальну перевірку ряду режимів процесу, що розглядається. З цих же позицій слід оцінювати доцільність використання тих чи інших математичних методів.

Нестаціонарний процес передачі тепла в елементах конструкції електричної машини описується диференціальним рівнянням енергії, що ґрунтується на гіпотезі Фур'є та відповідними умовами однозначності. Вирішення цього рівняння представляє певні труднощі, пов'язані з інтегруванням диференційного рівняння в часткових похідних. В даний час теорія теплопровідності використовує велику кількість різних методів і засобів, які дозволяють отримати остаточне рішення відповідно до коректно поставленого завдання.

До найбільш широко використовуваних слід віднести методи: нестаціонарного температурного поля, миттєвих джерел та елементарних теплових балансів. Метод нестаціонарного температурного поля застосовується у тому випадку, коли у певних областях електричної машини у нормальному або аварійному режимах роботи може статися неприпустимий місцевий перегрів. Метод миттєвих джерел застосовується у більшості випадків для аналізу можливого змінювання температурного поля в деяких аварійних режимах. Він дозволяє виявити найслабші за термічною стійкістю області електричної машини. Метод елементарних теплових балансів відноситься до найбільш універсальних і часто застосовується на практиці, як найпростіший з усіх розглянутих. Метод сіток, метод кінцевих елементів та метод еквівалентних теплових схем (ЕТС) із власними теплоємностями є окремими випадками методу елементарних теплових балансів. Теплоємності елементів у методі ЕТС при нестаціонарному тепловому процесі визначають його перебіг та приєднуються до вузлів ЕТС.

Застосування ЕТС для розрахунку температурних кривих виправдовується тим, що це у більшості випадків забезпечує необхідну точність розрахунку температурних кривих для регулярних режимів, тобто таких, у яких швидкість змінювання температурного поля у всіх точках виділеної області практично однакова. В цьому випадку температурні криві можуть бути представлені у вигляді сум кінцевого числа експонентів.

Використання ЕОМ дозволяє виконувати розрахунки нестаціонарних теплових режимів на основі докладних теплових схем заміщення без їх не виправданого спрощення.

Для інженерних теплових розрахунків лінійних завдань, що часто зустрічаються на практиці, коли протягом певного часу параметри теплової схеми залишаються постійними, існуючі методи розрахунку складних схем можуть бути вдосконалені з метою забезпечення необхідної точності математичного рішення.

**Висновок.** Области застосування електричних машин, що розширюються, ускладнюють режими їх роботи та вимагають надійних методів теплового розрахунку та розрахунку кривих змінювання температури в цих режимах. Такі методи можуть бути створені на основі глибокої математизації процесів теплообміну та широкого впровадження в практику теплових розрахунків, які дозволяють проводити синтез електричних машин за їх оптимізації з урахуванням теплового стану в різних режимах.

### Список використаних джерел

1. Сипайлов Г. А., Санников Д. И., Жадан В. А. Тепловые, гидравлические и аэродинамические расчеты в электрических машинах: учебник. Москва: Высшая школа, 1989. 239 с.
2. Квітка С. О., Вовк О. Ю., Квітка О. С. Математична модель теплового стану асинхронного електродвигуна у нестационарних режимах. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки*. Харків, 2016. Вип. 175: Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. С. 140-142.
3. Квітка С. О., Вовк О. Ю., Квітка О. С. Теплова модель асинхронного електродвигуна в стаціонарних режимах. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки*. Харків, 2015. Вип. 164: Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. С. 118-120.
4. Квітка С. О., Вовк О. Ю., Нестерчук Д. М. Математична модель теплового стану асинхронного електродвигуна у стаціонарних режимах. *Сучасні наукові дослідження на шляху до євроінтеграції: матеріали міжнародного науково-практичного форуму (21-22 червня 2019 р.) / ТДАТУ; за ред. В. Т. Надикто. Мелітополь, 2019. Ч. 1. С. 230-233.*
5. Жарікова А. О., Квітка С. О. Аналіз методів теплового розрахунку електричних двигунів. *Сучасний стан та перспективи розвитку електротехнічних систем: матеріали II Всеукр. наук.-практ. інтернет-конференції пам'яті В. В. Овчарова (10-26 листопада 2020 р.)*. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С. 38-39.