

УДК. 621.313.322

Зіновкін В.В.¹, Антонов М.Л.², Тарарін О.В.³, Панарін Т.Р.⁴, Шаханов А.С.⁴

¹ д-р. техн. наук., проф. НУ «Запорізька політехніка»

² канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

³ асп. гр. А-141.12 НУ «Запорізька політехніка»

⁴ студ. гр. Е-311 НУ «Запорізька політехніка»

МЕТОДОЛОГІЧНІ ПІДХОДИ НАУКОВОГО ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗПОДІЛУ ТЕМПЕРАТУРНИХ НАВАНТАЖЕНЬ В СИСТЕМАХ ЗБУДЖЕННЯ БІГУЧОГО ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ ПОТУЖНИХ СИНХРОННИХ МАШИН

Потужні синхронні машини використовуються з метою забезпечення директивного завдання і стабілізації технологічних процесів в електрометалургії, для живлення приводів прокатних станів, індукційних печей для виготовлення спеціальних сплавів, нафтовій та газовій промисловості та ін. Забезпечуючи стабільність технологічних процесів в самих машинах відбуваються дуже складні нестационарні електромагнітні процеси, які в повній мірі потребують подальшого дослідження та врахування при розробці нових типів машин. Актуальність розробки нових, більш ефективних, методів дослідження нестационарних електромагнітних процесів полягає в тому, що ці процеси збуджуються специфічними режимами роботи електротехнологій, конструкцією та процесами, що відбуваються в синхронних машинах. Як правило, при розробці цих машин використовуються інженерні методи розрахунку електромагнітних, теплових, високовольтних, електродинамічних, вібраційних та ін. процесів в основу яких покладено теоретичні методи, які корегуються відповідними напівемпіричними коефіцієнтами в залежності від певного конструктивного варіанту, що розробляється. При цьому, найбільш вразливі режими роботи машин практично врахувати не представляється можливим. Тому при розробці Державних стандартів і нормативно-технічної документації на допустимі короткочасні режими роботи, що призводять до погіршення умов роботи, враховуються можливості теоретичних методів (точність, вплив сукупності інших факторів та ін.), технологічні можливості виробника та умови експлуатації. Іншими словами, це є компромісний документ, який, на даний момент, задовольняє проектну організацію, розробника та експлуатацію. Такий стан має місце майже у всіх країнах технічної спільноти.

При вирішенні питань оптимізації техніко-економічних показників постійно виникають питання щодо пошуку «науково-технічного компромісу» між низкою процесів, що відбуваються між зовнішніми параметрами (живлення), внутрішніми (польові, електромагнітні, високовольтні, теплові та

ін.), що відбуваються в устаткуванні та матеріалами (електрофізичні характеристики сталей, ізоляції, відстаней) із яких виготовляються активні і неактивні деталі конструкції.

Аналіз аварійності і умов експлуатації синхронних машин показав, що найбільші показники відмов мають місце в металургійній та газовій промисловості. Найбільші пошкодження мають місце в лобовій частині системи збудження бігучого електромагнітного поля розсіювання (обмоток). При цьому, на підставі аналізу діелектричних властивостей ізоляції встановлено, що теплові перевантаження впродовж обмоток не рівномірні (розрахунках вважається рівномірним). Нерівномірний розподіл теплових перевантажень елементів конструкції та їх постійна зміна призводить до постійних змін механічних зусиль між активними та неактивними елементами конструкції. Але слід мати на увазі, що теплові процеси є наслідком електромагнітних процесів, які, в свою чергу, збуджуються, зовнішніми параметрами.

Таким чином, нерівномірний розподіл температурних полів призводить до формування низки небажаних факторів, що погіршують технічний стан синхронних машин в умовах експлуатації. Доцільно відзначити, що розрахунки теплових навантажень ротора виконуються на підставі схем заміщення і дозволяють визначити усереднені значення температур в окремих точках анізотропних середовищ (сталей, ізоляції), що не відповідає в повній мірі дійсності і призводить до певних похибок. Для отримання більш точних методів розрахунків, по мірі зростання потужності в одиниці машин, використовувались чисельні методи та метод кінцевих елементів електромагнітних процесів та послідовних температурних навантажень. При цьому розрахунки виконувались для умов роботи машини в синхронному режимі. Актуальність дослідження зумовлено вимогами практики щодо підвищення надійності синхронних машин та забезпечення оптимальних умов роботи відповідних технологічних процесів у промисловості.

Наукова новизна полягає в розробці методологічних підходів та методів наукового дослідження розподілу температурних навантажень активних елементів в поєднанні із електромагнітними процесами, що відбуваються в порожнині синхронної машини.

В роботі пропонується методологічний підхід розрахунку теплових навантажень елементів конструкції синхронної машини відповідно до формування електромагнітних процесів, що збуджуються зовнішніми параметрами навантаження (живлення і механічного) на підставі епюру електромагнітного поля розсіювання, додаткових втрат (місцевих і загальних) та температур в найбільш характерних місцях в логічній послідовності їх формування і прояву.

Математична модель електромагнітних процесів використовується для знаходження найбільш вразливих місць в активних і неактивних елементах конструкції. При цьому враховуються впливи зовнішніх факторів. Отримані результати використовуються в якості похідних в математичній моделі теплового поля. Теплова модель представляє собою нелінійне диференційне рівняння теплопровідності в якій втрати в одиниці об'єму прямопропорційно впливають на результат. Аналіз і синтез побудови математичної моделі теплового поля показав, що:

- враховувати характерні риси конструкції не є доцільним внаслідок суттєвого ускладнення математичної моделі і відповідних теплових потоків;
- взаємний вплив активних і неактивних елементів на теплове поле машини практично не представляється можливим;
- в якості початкових умов скористатись місцевими втратами в найбільш характерних точках при сталому режимі статичної стійкості;
- в якості граничних умов використовувати усереднені геометричні розміри елемента, що досліджується.

Тому при вирішенні поставленого завдання доцільно скористатись наступними припущеннями:

- Статор і ротор розглядаються в якості самостійних і незалежних джерел теплової енергії;
- Кривизною активних елементів конструкції нехтуємо;
- Рішення моделі отримуємо в декартовій системі координат в силу повної симетрії машини і спрощення розрахунків;
- Вентиляційні процеси вважаються такими, що задовольняють нормативній документації щодо можливих перевантажень (сталій);
- Вплив охолоджуючого середовища враховується шляхом використання відповідних корегуючи коефіцієнтів теплопередачі відповідних поверхонь.

На перший погляд здається, що досить велика кількість припущень призведе до досить великих похибок в кінцевому результаті, але з точки зору взаємного впливу природи фізичних процесів, що відбуваються в машині, вони мають сенс в математичній постановці математичної моделі. Так наприклад, із фізичної точки зору кривизна активних елементів майже не впливає на розподіл тепла в наслідок симетрії та достатньо великих геометричних розмірів. Тому вирішення завдання в декартовій системі практично не відрізняється від результатів, що отримуємо в інших системах відліку.

В варіаційній постановці рівняння теплопровідності перетворюється до суми окремих джерел у вигляді інтегро-диференційного рівняння в межах початкових і граничних умов, що дозволяє отримувати результат в межах осереднених геометричних розмірів синхронної машини. На цьому етапі

необхідно враховувати температурний вплив примусового охолоджуючого середовища в якості такого, що відбирає частину теплової енергії.

Вирішення завдання можливо звести до знаходження розподілу температур в обмежених межах шляхом мінімізації функціонала і представлення рівняння теплового поля у вигляді матричного рівняння. В якості вузлових елементів матриць теплопровідності - функція розподілу певних меж і відповідних коефіцієнтів теплопровідності, вектор напрямку теплового потоку та вектор теплових джерел.

На цьому етапі необхідно уважно визначити похідну (швидкість) потоку тепла в певні моменти часу. Для цього доцільно скористатись математичним методом кінцевих елементів. При досягненні сталого режиму можливо обмежитись рішенням матричного рівняння.

У випадках коли машина працює при різкозмінних електричних або змінних механічних навантаженнях вирішення задачі ускладнюється. При необхідності отримання оцінюючого результату можливо скористатись вирішенням лінійного диференційного рівняння де в якості початкового параметра можливо скористатись отриманим вище методом, а вплив перевищень врахувати шляхом зростання додаткових втрат.