

ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИЧНИХ ПРОЦЕСІВ УШКОДЖЕННЯ ДЕМПФЕРНОЇ СИСТЕМИ РОТОРА СИНХРОННИХ МАШИН

**Васьковський Ю.М., д.т.н., професор, Гераскін О.А., к.т.н., доцент,
Татарінов К.М., аспірант**

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра електромеханіки

Вступ. Демпферна система ротора (ДСР) явнополюсної синхронної машини (ЯСМ) виконує важливі експлуатаційні функції щодо утримання ротора ЯСМ в синхронному режимі роботи при виникненні раптових зовнішніх збурень. Вважається, що конструкція ДСР є досить простою і при правильному виборі параметрів стрижнів характеризується високою надійністю. Але при подальшій експлуатації ЯСМ внаслідок поступової деградації конструкції машини на практиці спостерігається суттєве збільшення кількості випадків ушкоджень і навіть руйнації ДСР, що призводить до раптових аварійних зупинок машини [1]. Особливо це характерно для потужних ЯСМ – гідрогенераторів, автономних потужних синхронних генераторів тощо. В ряді досліджень [2-3] встановлено, що однією з головних причин ушкоджень ДСР є поява статичного ексцентриситета (СЕ) ротора ЯСМ, при якому відбувається нерівномірність повітряного проміжку між статором і ротором уздовж кола розточки статора. СЕ є небажаною, але характерною для тихохідних ЯСМ деградацією конструкції, оскільки ЯСМ, зазвичай, мають великий діаметр ротора і відносно невелику висоту повітряного проміжку.

Суть фізичних процесів, які відбуваються в ЯСМ при появі СЕ, полягає у наступному [2]. При обертанні ротора ЯСМ в нерівномірному повітряному проміжку в кожному з полюсів ротора виникають пульсації основного магнітного потоку, які індукують в ДСР струми, оскільки пульсуючий магнітний потік полюса безпосередньо зчіплюється з площиною ДСР. Ці струми не пов'язані з асинхронним рухом або коливаннями швидкості ротора, обумовлені лише появою СЕ і під час експлуатації машини протікають постійно, викликаючи нагрів елементів ДСР. Причому розподіл струмів в стрижнях ДСР і їх нагрів є суттєво нерівномірним, що призводить до появи значних несиметричних термомеханічних напружень і деформацій в ДСР. На рис. 1 а) зображено вид ушкодженого полюса гідрогенератора СГК 538/160–70М з боку торцевого короткозамикаючого елемента, який відірвався від стрижнів; на рис 1 б) зображено вид поверхні ушкодженого полюса, який внаслідок появи СЕ при обертанні ротора, торкався поверхні осердя статора.

Мета роботи. Дослідження методами математичного моделювання термомеханічних процесів в ДСР ЯСМ, яка експлуатується при наявності СЕ ротора.

Об'єкти дослідження. Дослідження проводилися на прикладі двох ЯСМ: 1) капсульного гідрогенератора СГК 538/160–70М, потужністю 22 МВт. На кожному полюсі ротора розташовано 3 мідних стрижня діаметром 17,5 мм; довжина ротора 1,6 м; повітряний проміжок під серединою полюса $\delta=6$ мм.

2) синхронного генератора СГ-500 потужністю 500 кВт, який використовується на малих гідроелектростанціях. Кількість полюсів – 12; кількість стрижнів полюса ротора; повітряний проміжок – 2,7 мм; довжина ротора – 0,35 м.



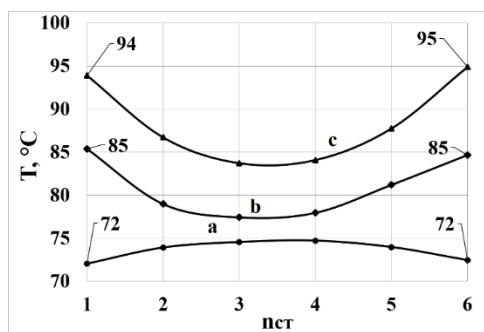
а)



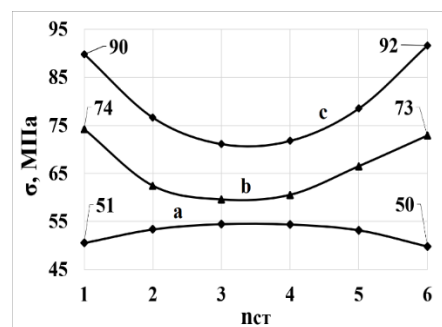
б)

Рисунок 1 – Ушкодження, що мали місце при експлуатації капсульного гідрогенератора типу СГК 538/160–70М

Результати досліджень. Основна увага приділяється аналізу термомеханічних напружень (ТМН). На рис. 2 а) для СГ-500 в залежності від номера стрижня на полюсі зображено значення температури стрижнів, а на рис. 2 б) – ТМН стрижнів для наступних розрахункових варіантів: крива а) відповідає синхронному режиму роботи генератора при відсутності СЕ; крива б) – синхронному номінальному режиму роботи при наявності СЕ $\varepsilon = 0,74$; крива с) – сталому асинхронному режиму при ковзанні $s = -0,01$ і при наявності СЕ $\varepsilon = 0,74$.



а)



б)

Рисунок 2 – Розподіл температури і термомеханічних напружень стрижнів ДСР ЯСМ 500 кВт

На зображенні зліва на рис. 3 для СГ-500 показано ТМН при $\varepsilon = 0,74$, $s = 0$. Деформації ДСР для наочності гіперболізовані в 500 разів і відображають форму і вигин в результаті деформування. З рис. 3 видно, що найбільші ТМН виникають зі сторін крайніх стрижнів ДСР, які подовжуються більше, ніж центральні стрижні, і тому найбільше виступають з полюсного наконечника. На крайні стрижні діють сили стискання, а в точках зварювання стрижнів в середині полюса сили діють на розрив, що є більш небезпечним і може вести до розриву стрижнів. Тобто ушкоджуються не тільки крайні, а й центральні стрижні в

полюсі ротора. Термомеханічні напруження в крайніх стрижнях для даного режиму сягають величини 223 МПа.

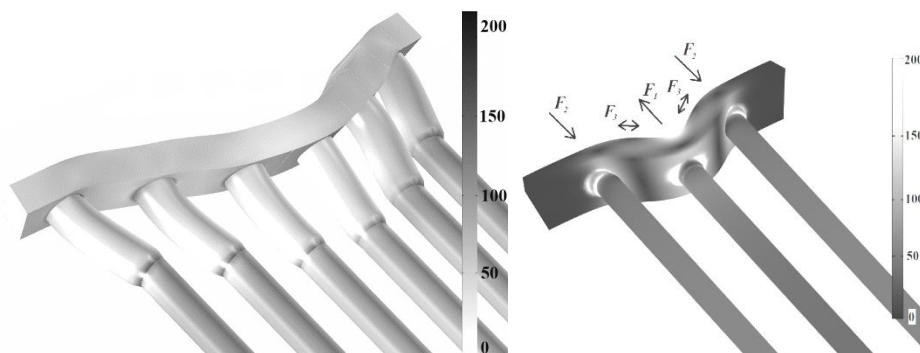


Рисунок 3 – Деформація елементів ДСР СГ-500 і ДСР СГК 538/160–70М

На зображенні справа на рис. 3 показано розподіли ТМН в ДСР СГК 538/160–70М за наявності СЕ ротора $\varepsilon = 0,83$ (при $s=0$). На рисунку показані збільшенні в 200 разів деформації, які відображають просторову форму і вигин ДСР в результаті деформування. Видно суттєву відмінність довжин крайніх і середнього стрижнів внаслідок їх різного нагріву. Зазвичай стрижні з'єднуються між собою зварюванням і термомеханічні зусилля в значній мірі впливають на зварний шов.

Висновок. Збільшення випадків uszkodження демпферної системи ротора потужних ЯСМ потребує системного дослідження і розробки рекомендацій щодо удосконалення конструкції ДСР. Тривимірне математичне моделювання дозволило докладно дослідити причини і механізм uszkodження ДСР при появі СЕ ротора або при виникненні тривалого асинхронного режиму роботи.

Доведено, що першопричиною процесів uszkodження ДСР ЯСМ є нерівномірність розподілу індукованих струмів в стрижнях на полюсах ротора, яка виникає при появі СЕ ротора або при роботі машини в асинхронному режимі. Найбільші індуковані струми і нагрів виникають в стрижнях, що розташовані на краях полюсних наконечників, а центральні стрижні на полюсі нагріваються суттєво менше. Такий несиметричний нагрів ДСР призводить до поздовжньо-поперечної деформації ДСР і появи значних термомеханічних напружень в елементах ДСР. Ці напруження суттєво залежать від наявної величини ексцентриситету ротора і поточного ковзання ротора в асинхронному режимі. При значних ковзаннях і ексцентриситеті виникають неприпустимо великі зламні зусилля, які розривають стрижні і ТКЕ ДСР.

Перелік посилань

1. Артюх С.Ф., Урманов О.Б. Статистический анализ отказов электрооборудования на ГЭС-ГАЭС Днепроовского каскада. Вісник ХПІ, 2011. № 41. С. 3-7.
2. Васьковський Ю.М., С.С. Цивінський, О.І. Титко. Електромагнітні процеси у демпферній системі роторів гідрогенераторів при нерівномірності повітряного проміжку. Технічна електродинаміка. 2015, № 1. С. 65-71.
3. Васьковський Ю.М. О.А. Гераскін. Вплив ексцентриситету ротора на демпферну обмотку капсульного гідрогенератора потужністю 23 МВА. Гідроенергетика України. – 2020. – № 1-2. – С. 59-64.