

УДК 621.313

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТЕПЛООВОГО СТАНУ ПОТУЖНОГО ГІДРОГЕНЕРАТОРА-ДВИГУНА

О.П.Грубой¹, Г.М.Федоренко², докт.техн.наук, О.Г. Кенсицький²,¹ – Державне підприємство завод «Електроважмаш»,

пр. Московський, 299, Харків, 61089, Україна,

² – Інститут проблем безпеки АЕС НАН України,

вул. Кірова, 36а, Чорнобиль, Київська обл., 07270, Україна.

Розроблено математичну модель теплового стану гідрогенератора-двигуна Дністровської ГАЕС. Проведено розрахунки нагріву основних елементів статора і ротора в різних режимах навантаження машини. Отримані результати співставлені із даними теплових випробувань гідрогенератора-двигуна. Запропоновано шляхи підвищення надійності та навантажувальної здатності агрегату. Бібл. 5.

Ключові слова: гідрогенератор-двигун, математична модель, температура.

Сьогодні гідроенергетика (в першу чергу, ГАЕС) – гарант технологічної безпеки АЕС. Розміщення ГЕС і ГАЕС поблизу АЕС дозволяє використовувати їх для забезпечення штатних режимів навантаження електротехнічного обладнання і як додатковий резерв електрозабезпечення власних потреб останніх [4]. Подальший розширений розвиток ядерної енергетики неможливий без випереджаючого зростання маневрених потужностей ОЕС, частка яких в загальному балансі електроенергетики має бути не менше 15 %.

Метою створення математичної моделі теплового стану гідрогенератора-двигуна типу СВО 1255/255-40 УХЛ4 було визначення нагріву основних активних елементів і вузлів машини та перевірка технічних рішень, спрямованих на підвищення її надійності та навантажувальної здатності.

Модель описує процеси масопереносу та теплообміну в елементах і вузлах статора та ротора гідрогенератора-двигуна й дозволяє визначити не тільки середні по об'єму, а й максимальні температури, а також локалізувати їхнє розташування в машині. При цьому враховуються реальні схема та умови охолодження активних зон, підігрів охолоджуючого повітря при проходженні тракту охолодження.

З урахуванням конструктивних особливостей гідрогенератора-двигуна та схеми циркуляції повітря розглядалась польова задача спільного розрахунку тривимірного температурного поля для сектора осердя та обмотки статора й ротора. При математичному описі температурного поля було прийнято низку припущень, що спрощують розрахунки, але істотно не впливають на їхню адекватність. Розрахункова схема охоплює половину зубцевого (пазового) ділення статора та половину полюсного ділення ротора. Уздовж машини розрахунок виконано для п'яти перетинів статора.

Вихідними даними для визначення інтенсивності теплообміну прийнято розрахункові значення витрат холодоагенту по основних зонах, отримані із вентиляційного розрахунку, та наявні дані теоретичних та експериментальних досліджень потужних турбо- та гідрогенераторів [1, 3]. Теплові втрати отримані від заводу-виробника.

У двигунному режимі при номінальному навантаженні максимум температур спостерігається у верхніх стрижнях обмотки статора в центральній частині осердя – 108,6 °С. Температура лобових частин обмотки статора при цьому досягає у верхній частині статора 80,0 °С, у нижній – 77,9 °С. Обмотка полюсу ротора має максимум у 85,6 °С, сталь осердя статора – 89,4 °С, сталь башмака полюса ротора – 78,7 °С.

Адекватність розробленої моделі було перевірено шляхом співставлення розрахункових значень температури активних зон із експериментальними даними [2], отриманими під час проведення теплових випробувань машини.

Гідрогенератор-двигун типу СВО 1255/255-40 УХЛ4 ст. № 1 Дністровської ГАЕС є головною машиною серії із семи машин, що мають бути виготовлені, змонтовані й пущені в експлуатацію у найближчі десять років. За результатами дослідно-промислової експлуатації головного агрегату серії мають бути запропоновані, розроблені й впроваджені у наступних машинах ефективні заходи й технічні рішення щодо підвищення їхньої безпеки, надійності й енерго-екологічної ефективності.

З метою визначення кількісних показників впливу коефіцієнту теплопровідності головної ізоляції обмотки статора виконано розрахунки нагріву основних елементів обмотки статора й ротора для двигунного режиму із номінальним навантаженням. Визначено, що при застосуванні системи ізоляції типу *Micadur* [5] максимальні температури обмотки статора можуть бути знижені майже на 22 °С (понад 18 %) із збереженням геометричних розмірів і без втрати діелектричної стійкості ізоляції.

Перепад температури по товщині ізоляції стрижня обмотки при цьому може бути знижений на понад 20 °С (на 60 %). Зниження робочої температури дозволяє подовжити ресурс ізоляції, покращити термомеханічні умови її експлуатації, підвищити навантажувальну здатність та маневрові можливості агрегату, у тому числі у режимах із споживанням реактивної потужності. Зокрема, навантаження у двигунному режимі може бути підвищене на 20 % із збереженням існуючих рівнів максимальних нагрівів.

Висновки. Розроблена математична модель теплового стану гідрогенератора-двигуна Дністровської ГАЕС відображає перебіг процесів тепло-і масообміну в машині, враховує реальний розподіл теплових втрат,

наявну схему вентиляції. Адекватність моделі підтверджена співставленням результатів розрахунку із даними теплових випробувань машини.

Застосування моделі дозволяє визначити максимальні температури активних елементів статора й ротора в різних режимах навантаження, проводити чисельні експерименти щодо оцінки ефективності технічних рішень із підвищення надійності й навантажувальної здатності гідрогенератора-двигуна. Це особливо актуально у зв'язку із розпочатим проектуванням агрегатів №2 і №3 Дністровської ГАЕС, що враховує досвід експлуатації першої машини.

Визначено, що теплопровідність головної ізоляції обмотки статора є основним чинником, який визначає рівень нагріву обмотки. Застосування дієвих рішень щодо її підвищення є реальним шляхом поліпшення експлуатаційних характеристик машини.

1. *Абрамов А.И., Иванов-Смоленский А.В.* Расчет и конструкция гидрогенераторов. – М.: Высшая школа, 1964. – 260 с.
2. *Тепловые испытания гидрогенератора-двигателя* типа СВО 1255/255-40 УХЛ4 ст. № 1 Днестровской ГАЭС / *Заключительный отчет по НИР.* ГР 0111U001474. – Харьков: Электротяжмаш, 2010. – 32 с.
3. *Титов В.В., Хуторецкий Г.М., Загородная Г.А., Вартаньян Г.П. и др.* Турбогенераторы. Расчет и конструкция. – Л.: Энергия, 1967. – 896 с.
4. *Шидловский А.К., Поташиник С.И., Федоренко Г.М.* Надежные гидроэлектростанции – гарант технологической безопасности и эффективной эксплуатации АЭС и ТЭС // *Гідроенергетика України.* – 2005. – №1. – С. 8–11.
5. *Miller M.L., Emery F.T.* Thermal Conductivity of High Voltage Stator Coil Groudwall Insulation // *EIC Conference in Chicago, 1997.* – Pp. 619–622.

УДК 621.313

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ МОЩНОГО ГИДРОГЕНЕРАТОРА-ДВИГАТЕЛЯ
А.П.Грубой¹, Г.М.Федоренко², докт.техн.наук, О.Г.Кенсицкий²,

¹ – **Государственное предприятие завод «Электротяжмаш», пр. Московский, 299, Харьков, 61089, Украина,**

² – **Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, ул. Кирова, 36а, Чернобыль, Киевская обл., 07270, Украина.**

Разработана математическая модель теплового состояния гидрогенератора-двигателя Днестровской ГАЭС. Проведены расчеты нагрева основных элементов статора и ротора в разных режимах нагрузки машины. Полученные результаты сравнены с данными тепловых испытаний гидрогенератора-двигателя. Предложены пути повышения надежности и нагрузочной способности агрегата. Библи. 5.

Ключевые слова: гидрогенератор-двигатель, математическая модель, температура.

THE MATHEMATICAL MODEL OF THE THERMAL CONDITION OF THE POWERFUL HYDRO GENERATOR-MOTOR
A.P.Gruboi¹, G.M. Fedorenko², O.G. Kensitskyi²,

¹ – **State enterprise plant «Elektrotyazhmash», Moskovskii, 299, Kharkiv, 61089, Ukraine,**

² – **Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants National Academy of Science of Ukraine, Kirova, 36a, Chornobyl, Kyiv. reg., 07720, Ukraine.**

The mathematical model of the thermal state of hydro generator-motor of Dniester HPSPP is worked out. The calculations of heating of basic elements of stator and rotor are conducted in the different modes of loading of machine. They got results are confronted with data of thermal tests of hydro generator-motor. The ways of increase of reliability and loading ability of aggregate are offered. References 5.

Key words: hydro generator-motor, mathematical model, temperature.

1. *Abramov A.I., Ivanov-Smolenskii F.V.* Calculation and design of hydro generators. – Moskva: Vysshiaia shkola, 1964. – 260 p. (Rus)
2. *Thermal tests of the hydro generator-motor* type SVO 1255/255-40 UHL4 pl. № 1 Dniester HPSPP / *The final report on scientific research work.* SR 0111U001474. – Kharkiv: Elektrotiazhmash, 2010. – 32 p. (Rus)
3. *Titov V.V., Khutoretskii G.M., Zagordnaia G.A., Vartanian G.P. and more.* Turbo generators. Calculation and design. – Leningrad: Energiia, 1967. – 896 p. (Rus)
4. *Shidlovskii A.K., Potashnik S.I., Fedorenko G.M.* Reliable hydro-guarantor of technological safety and effective operation of NPP and TPP // *Hydroenergetyka Ukrainy.* – 2005. – №1. – С. 8–11. (Rus)
5. *Miller M.L., Emery F.T.* Thermal Conductivity of High Voltage Stator Coil Groudwall Insulation // *EIC Conference in Chicago, 1997.* – Pp. 619–622.

Надійшла 06.01.2012

Received 06.01.2012