

О. В. ТРЕТЬЯК, О. Ю. ШУТЬ, М. В. ТРИБУШНОЙ

АНАЛІЗ ТЕПЛООВОГО СТАНУ ХРЕСТОВИНИ ГІДРОГЕНЕРАТОРА – ДВИГУНА ВЕЛИКОЇ ПОТУЖНОСТІ ЗА ОСОБЛИВИХ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

АНОТАЦІЯ В роботі проведено дослідження основних елементів конструкції гідрогенераторів вертикального виконання, а саме статору, ротору у складі втулки, спиць, обода ротору, полюсів і надставки валу, направляючого підшипника з пристроєм мащення і охолодження, під'ятника з пристроєм мащення і охолодження, гальмівного і підйомного пристрою ротора з системою трубопроводів, насосом високого тиску, щитом гальмування, верхнім і нижнім перекриттям з сполучними і складальними елементами, системи вентиляції та охолодження гідрогенератора-двигуна, включаючи повітроохолоджувачі. Вказано на неможливість розв'язання прямої задачі для елементів конструкції, що знаходяться під дією циркуляційних струмів. Запропоновано рішення обернених задач для крупних елементів гідрогенератора. Виконано аналіз причин нагріву хрестовини гідрогенератора в процесі експлуатації при різних режимах роботи. Проведено детальний розрахунок теплового стану і переміщень центральної частини хрестовини при нагріванні, а також визначені зусилля які передаються на домкрат в результаті теплового розширення лап хрестовини. Проведений розрахунковий аналіз показав, що теплове розширення і внаслідок цього переміщення всієї хрестовини в цілому критичного характеру не мають.

Ключові слова: гідрогенератор, ротор, статор, тепловий стан, тепловий вплив.

O. TRETIAK, O. SHUT, M. TRIBUSHNOY

ANALYSIS OF HEAT STATE OF HYDROGENERATOR SPIDER – MOTOR OF HIGH POWER AT SPECIAL CONDITIONS OF OPERATION

ABSTRACT In given article the study of the basic elements of Hydrogenerators of vertical design version namely the stator, the rotor including the bush, spokes, rotor rim, poles and shaft extension, guide bearing with lubrication and cooling, the thrust bearing with lubrication and cooling, braking and lifting device of the rotor with pipe lines systems, high pressure pump, braking shield, with top and bottom overlap with connection and assembly elements, ventilation and cooling system of Hydrogenerator-motor including air coolers. It is indicated to impossibility of the direct task solving for the design elements that are under action of circulation currents. Solving of the reverse tasks for large design elements of Hydrogenerator is proposed. The analysis of heating causes of the spider of Hydrogenerator during operation under various operating modes. Detailed calculation of the thermal state and the transfer of the central part of the spider at heating, as well as forces transmitted to the jack as a result of thermal expansion of the spider legs were determined. Calculation analysis has showed that the thermal expansion and thereby a transfer of the entire spider do not have critical nature generally. Submitted article gives opportunity to continue studying of the action of circulation currents to general condition of the design. Proposed methods let solve the reverse thermal task in three-dimensional model. As per got thermal release we succeed to specify the reaction in the spacing jacks supports connected with the thermal expansion of the construction. At that we succeed to determine heat release due to circulation currents in the spider top area. Calculations were made in the software programming complex SolidWorks Simulation.

Keywords: Hydrogenerator, rotor, stator, thermal state, thermal effect.

Вступ

Сучасна енергетика дозволяє отримувати електроенергію багатьма способами – вітрогенератори, парові турбіни, енергія припливів і відливів, а також гідрогенератори. Розвиток гідроенергетики в Україні є одним з перспективних напрямків розвитку енергетики країни в цілому. Основу гідроенергетичного парку ГЕС і ГАЕС країни складають гідроенергетичні горизонтального типу. Горизонтальні гідроенергетичні при досить високих частотах обертання виявляються більш компактними і легкими в порівнянні з вертикальними і внаслідок цього є більш продуктивними. Основними виробниками гідроенергетичних в світі є: «Alstom» Франція, «Siemens» Німеччина, «Toshiba» Японія, «Електроважмаш» Україна, «Ansaldo Energia» Італія, «Tes Vsetin» Чехія, ПАТ «Силові машини» Росія.

Мета роботи

Визначити початкові та граничні умови шляхом розв'язання оберненої задачі з урахуванням впливу циркуляційних струмів на конструктивні елементи гідроенергетичного.

Загальний опис конструкції гідроагрегату

Конструкція гідроенергетичного залежить від параметрів гідротурбіни, які в свою чергу залежать від природних умов в районі будівництва гідроелектростанції (напору води і її витрати). Також вона обирається таким чином, щоб досягалася максимальна потужність при виробленні електроенергії. У зв'язку з цим для кожної гідроелектростанції зазвичай проектується новий гідроенергетичний. Зазвичай використовується гідроенергетичний вертикального типу, але

бувають винятки, коли ефективніше використати горизонтальний тип [1].

Велика частина існуючих на сьогодні гідрогенераторів мають вертикальне виконання з порівняно малою частотою обертання (до 600 об/хв) і досить великим діаметром (до 20 м). Також існують гідрогенератори горизонтального виконання, але в них стає неможливим забезпечення необхідної механічної міцності і жорсткості елементів їх конструкції.

До складу гідрогенератора-двигуна і його допоміжних систем входять:

- статор;
- ротор у складі втулки, спиць, обода ротора, полюсів і надставки валу;
- направляючий підшипник з пристроєм мащення і охолодження;
- підп'ятник з пристроєм мащення і охолодження;
- гальмівний і підйомний пристрій ротора з системою трубопроводів, насосом високого тиску, щитом гальмування;
- верхнє і нижнє перекриття з сполучними і складальними елементами;
- система вентиляції та охолодження гідрогенератора-двигуна, включаючи повітроохолоджувачі;
- система підігріву повітря на зупиненому гідрогенераторі-двигуні;
- система освітлення гідрогенератора-двигуна;
- головні і нульові виводи обмотки статора і виводи обмотки збудження;
- щітково-контактний апарат (для підведення струму в обмотку ротора);
- верхній ковпак для закриття верхнього кінця надставки валу і щітково-контактного апарату;
- індивідуальна система захисту від пожежі в гідрогенераторі-двигуні;
- болтові і втулкові елементи з'єднання верхнього фланця втулки ротора з фланцем надставки валу;
- трубопроводи системи водяного охолодження повітроохолоджувачів і мастилоохолоджувачів направляючого підшипника і підп'ятника;
- датчики системи контролю та моніторингу, клемні шафи, а також проводка від датчиків до клемників;
- система термоконтролю гідрогенератора-двигуна;
- система моніторингу з контролем часткових розрядів в ізоляції обмотки статора;
- система водяного автоматичного пожежогасіння (АПЖ) з вбудованими інфрачервоними датчиками з контролем витрати;
- статична тиристорна система незалежного збудження.

Гідрогенератор-двигун забезпечує роботу в двох основних режимах: в генераторному і в руховому.

У генераторному режимі гідрогенератор-двигун перетворює механічну енергію, передану з вала насос-турбіни, в електричну енергію, що віддається в мережу.

У режимі двигуна гідрогенератор повинен перетворити електричну енергію, що забирається з мережі в механічну енергію обертання валу насос-турбіни, що подає воду з нижнього у верхній басейн ГАЕС для створення запасу потенційної енергії у вигляді накопичуваної в верхньому басейні води.

Розглянутий нами гідрогенератор-двигун – горизонтальний зонтичний з одним направляючим підшипником, розміщеним у масляній ванні верхньої хрестовини над ротором, і з підп'ятником, що спирається на кришку гідротурбіни. Монтуються генератор на хрестовину, яка служить для сприйняття і передачі вертикальних і радіальних зусиль безпосередньо на фундамент або на корпус статора, закріплений на фундаменті. Її конструкція повинна протистояти осьовим і поперечним навантаженням, а також витримувати температурні перепади. Гідрогенератор-двигун приєднується до блокового трансформатора через два елегазових вимикача і два роз'єднувача [2].

Потік води під напором входить в трубу і звідси в спіральну камеру. Рухаючись всередині камери водяна маса закручується. У центрі камери – колесо турбіни з направляючим апаратом, що складається з лопаток, які можуть повертатися на своїй осі і таким чином регулювати вироблювану потужність.

Крізь направляючий апарат вода потрапляє на лопаті робочого колеса турбіни і вона починає обертатися. Далі вода потрапляє у відсмоктувальну трубу, а з неї назад у русло ріки.

Робоче колесо турбіни обертається і разом з ним обертається вал, що зв'язує робоче колесо з ротором електричної машини – генератором змінного струму. Під час його роботи виділяється значна кількість тепла, тому необхідна досить потужна система охолодження. У розглянутому нами генераторі встановлена непряма система охолодження з повітряним охолодженням обмотки статора і ротора та замкнутим циклом самовентиляції з охолодженням повітря в повітроохолоджувачах, встановлених на зовнішній поверхні корпусу статора. Повітря циркулює під впливом самовентиляції ротора. Витрата повітря забезпечується за рахунок напірної дії тих самих, названих вище спиць ротора, обода з каналами і полюсів.

Також варто коротко сказати про статор гідрогенератора. Він виготовляється роз'ємним з деякої кількості секторів, які сполучаються при складанні в кільце за допомогою стикових плит та стяжних болтових елементів. Важливим фактором є те, що корпус статора повинен передавати на будівельну частину без деформацій електромеханічні, електродинамічні і термічні сили, що вини-

кають внаслідок аварійних режимів. Тобто необхідно задати високий рівень жорсткості кожного елемента окремо і всієї конструкції в цілому.

Сердечник статора повинен бути виконаний з високоякісної холоднокатаної електротехнічної сталі нерознімним з шихтовкою у «кільце» і укладанням обмотки на монтажному майданчику станції на місці установки. Монолітність сердечника статора повинна досягатися його багаторазовим обпресуванням у процесі складання за допомогою кільцевого гідравлічного преса, а також індукційним обпресуванням.

Обмотка статора петльова, стрижнева, двошарова; плетені стрижні повинні виконуватися з двох стовпців елементарних провідників, транспонованих за методом Робеля на 360° . Ізоляція обмотки статора – терморезистивна, з вакуумуванням і гидростатичним обпресуванням при її запіканні необхідно забезпечити належний клас нагрівостійкості.

Тепер розглянемо валопровід, який пов'язує робоче колесо турбіни з ротором генератора. Він повинен бути спроектований так, щоб витримувати обертаючі моменти, що виникають під час нормального і аварійного режимів роботи. Конструкція повинна забезпечувати відсутність концентраторів місцевих напружень. Повинен бути захищений від струмів валу, для чого сегменти підшипника і диск під'ятника повинні бути електрично ізолювані від корпусу.

Конструкція направляючого підшипника повинна забезпечувати обертання ротора в будь-якому режимі роботи, включаючи аварійні умови. Він повинен представляти досить жорстку конструкцію, яка узгоджується з вимогами, що стосуються критичної частоти обертання валу.

Під'ятник повинен бути гідродинамічного типу, з використанням олії в якості мастильного середовища і спроектований для сприйняття осьових навантажень, включаючи передані від насос-турбіни. Він повинен спиратися на кришку насос-турбіни.

З генератора струм проходить через трансформатор, який підвищує напругу, а з нього в мережу для подальшої передачі споживачам.

Зворотні задачі теплотехніки

Нехай за відомим кінцевим тепловим станом тіла необхідно відновити початковий розподіл температур, звернувши хід часу. Це приклад постановки оберненої задачі теплопровідності. У більш загальному сенсі зворотними називають завдання в яких шукані величини недоступні прямим спостереженням і повинні бути відновлені за даними непрямих вимірювань (тобто вимірювання інших величин, пов'язаних з пошуком деякою складною функціональною залежністю).

На відміну від прямих завдань, зворотні не завжди можуть відповідати реальним подіям: не можна звернути хід теплообмінного процесу, як і змінити плин часу, постановки оберненої задачі є фізично некоректними. При математичній формалізації фізична некоректність вже проявляється, частіше, наприклад, в нестійкості рішення, як математичне. Таким чином, зворотні задачі представляють собою типовий приклад некоректно поставлених задач в теорії теплообміну.

Поряд з прямим завданням теплопровідності – відшукування температурного поля шляхом вирішення рівняння з відомими крайовими умовами – можлива постановка і оберненої задачі, в якій по заданому в просторі і в часі розподілу температур потрібно визначити відповідні крайові умови (або початковий розподіл температури, або граничні умови) або коефіцієнти рівняння – фізичні властивості речовини.

Для розв'язання прямої задачі ми завжди рухаємося від причини до слідства, у нас завжди є можливість провести будь-які виміри, або експерименти. У рішенні обернених задач цей принцип не працює, в умовах таких задач ми рухаємося навпаки від слідства до причини, тому потрібні принципово нові підходи до вирішення таких завдань. Одним з таких методів є аналітичні або машинні (чисельні) розв'язки обернених задач нестационарної теплопровідності. Залежно від конкретної спрямованості і строгості постановки, які визначаються прикладними цілями досліджень, прийоми і алгоритми розв'язання обернених задач широко варіюються. Методичні похибки які базуються на основі відновлюваних температур теплообмінних і теплофізичних характеристик переважно оцінюються, виходячи з приватних особливостей розв'язуваної задачі [3].

Іншим методом вирішення таких завдань є метод підбору. Також одним з перспективних напрямків у вирішенні зворотних задач теплопровідності є приведення їх до екстремальних постановок і використання приватних методів теорії оптимізації. При цьому можливі два випадки:

- 1) рішення шукається в просторі параметрів;
- 2) завдання вирішується в функціональному просторі.

У першому випадку екстремізується функція кінцевого числа параметрів – параметрична оптимізація, у другому – визначаються функції, які екстремізують функціонал від цих функцій – функціональна оптимізація.

Підводячи підсумки усьому вище сказаному можна з упевненістю сказати, що відшукування найбільш простого і точного механізму розв'язання обернених задач теплотехніки, і обернених задач в цілому – це питання, яке ще дуже довгий час буде залишатися актуальним, тому що існує безліч завдань цього типу, і при щонайменшій зміні будь-

яких параметрів, наша умовна задача буде «перетікати» з одного виду в інший. Тому для початку необхідно створити більш – менш чітку класифікацію задач такого типу, а вже після шукати механізм вирішення для всього класу в цілому.



Рис. 1 – Вертикальний гідрогенератор

Визначення теплового стану хрестовини при нагріванні

Під час роботи вертикального гідрогенератора (рис. 1 та 2) деяка частина вироблюваної їм потужності, (2–5 % від номінальної) розсіюється у вигляді тепла всередині самого генератора.

Величина втрат безпосередньо залежить від розмірів гідрогенератора – чим більше генератор, тим менше обертів і тим менше втрати, і навпаки. Втрати потужності можна класифікувати на три основні групи:

- магнітні;
- електричні;
- механічні.

Одним з основних теплових впливів на генератор є вихрові струми, які утворюються в двигуні внаслідок електромагнітної індукції в провідному середовищі при зміні пронизуючого її магнітного потоку [7]. Всі втрати потужності перетворюються в тепло, яке нагріває гідрогенератор (рис. 3). Також нагрівається і хрестовина, на яку монтується генератор і яка має безпосередній контакт з корпусом гене-

ратора. Тепло перетікає з обмоток статора на корпус, а з нього на хрестовину.



Рис. 2 – Загальний вигляд зверху

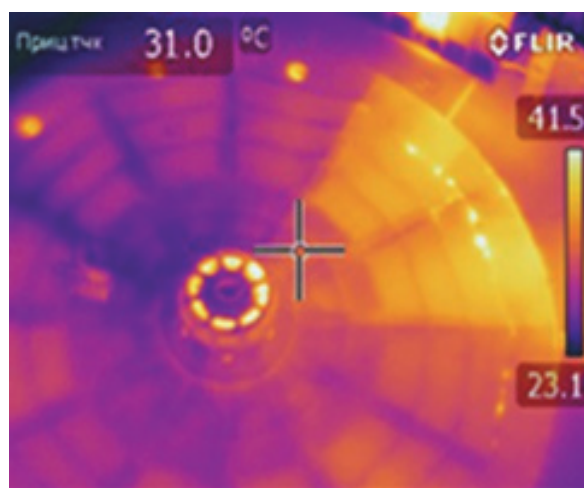


Рис. 3 – Тепловий стан гідрогенератора

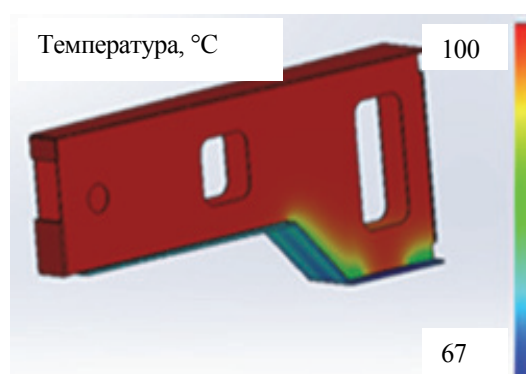


Рис. 4 – Температурний режим лапи

Завданням цього розрахунку є визначення теплового стану і переміщень хрестовини та її лап при нагріванні (рис. 4), а також навантаження якого зазнають домкрати через переміщення лап. Дане завдання є зворотною задачею теплотехніки, тому що з початкових даних у нас присутнє тільки температурне поле хрестовини, і спираючись на це температур

не поле, нам необхідно відновити первісний стан об'єкта, тобто потрібно звернути процес назад [4].

Загальний запис оберненої задачі може бути представлений у формі операторного рівняння

$$Au = f, u \in U, f \in F,$$

де u і f – відповідно шукана характеристика і та, яка спостерігається. Вони трактуються як елементи метричних просторів U і F . Оператор $A: U \rightarrow F$ передбачається заданим, має область визначення $D(A) \subseteq U$ і область значення $R(A) \subseteq F$. Завдання рішення рівняння називається коректно поставленим за Адамаром, якщо:

- 1) для будь-якої $f \in R(A) = F$ існує рішення $u \in U$ (умова можливості розв'язання);
- 2) рішення є єдиним в U (умова однозначності).

Згідно з отриманими тепловиділеннями вдалося уточнити реакції в опорах розпірних домкратів, пов'язаних з тепловим розширенням конструкції. При цьому вдалося визначити тепловиділення, обумовлені циркуляційними струмами в зоні розташування верхньої хрестовини.

Розрахунки проводилися в програмному комплексі *SolidWorks Simulation*.

Для початку визначили стаціонарний температурний режим лапи. Потім визначили теплові переміщення і побудували їх епюру.

В результаті проведеного розрахунку з'ясували що максимальне переміщення в центральній частині хрестовини склало 0,1 мм.

У механічному розрахунку домкрат вважається абсолютно жорстким. Спочатку визначили стаціонарний температурний режим лапи (рис. 4). Потім визначили зусилля які діють на домкрат. В результаті проведеного розрахунку отримали температурний розподіл хрестовини від теплового впливу з боку провідної шини.

Висновки

На даному етапі проведено детальний розгляд основних проблем нагріву гідрогенератора, та пов'язаних з цим додаткових навантажень на всю конструкцію в цілому. Зазначено основні шляхи напрямку використання математичним апаратом методів зворотних задач. Представлено розрахунок теплового навантаження на хрестовину генератора, та зроблено висновки щодо отриманих даних.

Список літератури

- 1 **Tabernero, A.** Predictive Maintenance in hydrogenerators [Electronic resource] / **A. Tabernero, B. Battle** // Presented in Hydro 2007. – Spain, Granada. – 2007. – С. 1–8. – Режим доступу: или URb: http://www.unitronics-electric.com/pdf/Paper_Hydro_Marketing_low.pdf. – 07.01.2017.
- 2 **Neumayer, F.** Methods for Fixation of the Rotor Winding Overhang of Large Asynchronous Hydrogenerators / **F. Neumayer, F. Ramsauer, M. Himmelreich, G. Kastner** // Colloquium on new development of rotating electrical machines. – Beijing, China. – 2011. – С. 86–92. – ISSN 0885-8969.
- 3 **Кобзар, К. О.** Аналіз причин пошкодження турбогенераторів та гідрогенераторів шляхом визначення складнонапруженого стану деталей / **К. О. Кобзар, О. Ю. Шуть, О. О. Овсянникова, О. В. Сенецький, О. В. Третяк** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 8(1180). – С. 136–142. – Бібліогр.: 13 назв. – ISSN 2078-774X. – doi: 10.20998/2078-774X.2016.08.19.
- 4 **Ошовский, В. В.** Использование компьютерных систем конечно-элементного анализа для моделирования гидродинамических процессов / **В. В. Ошовский, Д. И. Охрименко, А. Ю. Сысоев** // Научові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Хімія і хімічеська технологія. – 2010. – Вып. 15. – ISSN 2074-6652.
- 5 **Копылов, И. П.** Справочник по электрическим машинам / **И. П. Копылов**. – Москва : Энергоатомиздат, 1988. – 456 с.
- 6 **Готтер, Г.** Нагрев и охлаждение электрических машин / **Г. Готтер** ; пер. с нем. – Москва ; Ленинград : Госэнергоиздат, 1961.
- 7 **Филиппов, И. Ф.** Теплообмен в электрических машинах: учебное пособие для вузов / **И. Ф. Филиппов**. – Ленинград : Энергоатомиздат, 1986. – 256 с. : ил.

Bibliography (transliterated)

- 1 **Tabernero, A. and Battle, B.** (2007), "Predictive Maintenance in hydrogenerators", *Presented in Hydro 2007*, Spain, Granada, pp. 1–8, available at: http://www.unitronics-electric.com/pdf/Paper_Hydro_Marketing_low.pdf (accessed 7 January 2017).
- 2 **Neumayer, F., Ramsauer, F., Himmelreich, M. and Kastner, G.** (2011), "Methods for Fixation of the Rotor Winding Overhang of Large Asynchronous Hydrogenerators", *Colloquium on new development of rotating electrical machines*, Beijing, China, pp. 86–92, ISSN 0885-8969.
- 3 **Kobzar, K., Shut, O., Ovsianynkova, O., Senetskiy, O. and Tretiak, O.** (2016), "Analysis of causes of turbogenerators and hydrogenerators damages by the method of determination of complicated stressed state of the parts", *Bulletin of NTU "KhPI". Series: Power and heat engineering processes and equipment*, no. 8(1180), pp. 136–142, ISSN 2078-774X, doi: 10.20998/2078-774X.2016.08.19.
- 4 **Oshovskiy, V. V., Ohrimenko, D. I. and Sysoev, A. Yu.** (2010), "Ispolzovanie komputernyih sistem konechno-elementnogo analiza dlya modelirovaniya gidrodinamicheskikh protsessov [Use of computer finite element analysis systems for simulation of hydrodynamic processes]", *Naukovі pratsі Donetskogo natsionalnogo tehničnogo unіversitetu. Seriya: Himiya i himicheskaya tehnologiya [Scientific works of Donetsk National Technical University. Series: Chemistry and Chemical Technology]*, No. 15, ISSN 2074-6652.

- 5 **Kopylov, I. P.** (1988), *Handbook of electric machines*, Energoatomisdat, Moscow, Russia.
- 6 **Gotter, G.** (1961), *Heating and cooling of electrical machines*, Gosenegroizdat, Moscow, Russia.
- 7 **Philipov, I. F.** (1986), *Heat transfer in electric machines*, Energoatomisdat, Leningrad, Russia.

Відомості про авторів (About authors)

Третяк Олексій Володимирович – кандидат технічних наук, ДП «ЗАВОД «ЕЛЕКТРОВАЖМАШ», завідувач сектором механічних розрахунків; 61089, Україна, м. Харків, пр-т Московський, 299; e-mail: alex3tretjak@mail.ru, ORCID 0000-0003-4945-5500.

Tretiak Olexsii – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), SE "Plant" Electroyazhmash", Head of sector on mechanical calculations; 299 Moskovsky Ave, 61089, Kharkov, Ukraine.

Шуть Олександр Юрійович – заступник начальника відділу проектування гідрогенераторів і КМПТ, ДП «ЗАВОД «ЕЛЕКТРОВАЖМАШ»; 61089, Україна, м. Харків, пр-т Московський, 299; ORCID 0000-0003-1591-2558.

Shut Olexandr – Deputy Head of Department on Hydrogenerators and LDCM, SE "Plant" Electroyazhmash", 299 Moskovsky Ave, 61089, Kharkov, Ukraine.

Трибушної Микита Віталійович – молодший спеціаліст, Факультет авіаційних двигунів, Кафедра теорії авіаційних двигунів, Національний аерокосмічний університет імені М. Є. Жуковського «ХАІ» НАН України; 61070, Україна, м. Харків, вул. Чкалова 17; e-mail: leer07770@gmail.com, ORCID 0000-0001-8386-715X.

Tribushnoy Nickita – Junior Specialist, Faculty aircraft engines, Aircraft engines theory, National Aerospace University M.E. Zhukovsky "NAI" NAS of Ukraine; st. Chkalov 17, 61070, Kharkov, Ukraine.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Третяк, О. В. Особливості математичного моделювання теплового стану гідрогенераторів капсульного типу / **О. В. Третяк, О. Ю. Шуть, М. В. Трибушної** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 11(1233). – С. 49–54. – Бібліогр.: 7 назв. – ISSN 2078-774X. – doi: 10.20998/2078-774X.2017.11.08.

Please cite this article as:

Tretiak, O., Shut, O. and Tribushnoy, N. (2017), "Features of Mathematical Modeling of the Thermal State of the Bulb Type Hydrogenerators", *Bulletin of NTU "KhPI". Series: Power and heat engineering processes and equipment*, No. 11(1233), pp. 49–54, ISSN 2078-774X, doi: 10.20998/2078-774X.2017.11.08.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Третяк, А. В. Особенности математического моделирования теплового состояния гидрогенераторов капсульного типа / **А. В. Третяк, А. Ю. Шуть, Н. В. Трибушной** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 11(1233). – С. 49–54. – Бібліогр.: 7 назв. – ISSN 2078-774X. – doi: 10.20998/2078-774X.2017.11.08.

АННОТАЦИЯ В работе проведено исследование основных элементов конструкции гидрогенераторов вертикального исполнения, а именно статора, ротора в составе втулки, спиц, обода ротора, полюсов и надставки вала, направляющего подшипника с устройством смазки и охлаждения, подпятника с устройством смазки и охлаждения, тормозного и подъемного устройства ротора с системой трубопроводов, насосом высокого давления, щитом торможения, верхним и нижним перекрытием со связующими и сборочными элементами, системы вентиляции и охлаждения гидрогенератора-двигателя, включая воздухоохладители. Указано на невозможность решения прямой задачи для элементов конструкции, находящихся под действием циркуляционных токов. Предложено решение обратных задач для крупных элементов гидрогенераторов. Выполнен анализ причин нагрева крестовины гидрогенератора в процессе эксплуатации при различных режимах работы. Проведен детальный расчет теплового состояния и перемещений центральной части крестовины при нагревании, а также определенные усилия, которые передаются на домкрат в результате теплового расширения лап крестовины. Проведенный расчетный анализ показал, что тепловое расширение и вследствие этого перемещение всей крестовины в целом критического характера не имеют.

Ключевые слова: гидрогенератор, ротор, статор, тепловое состояние, тепловое воздействие.

Надійшла (received) 15.02.2017