

К. О. КОБЗАР, О. Ю. ШУТЬ, О. О. ОВСЯННИКОВА, О. В. СЕНЕЦЬКИЙ, О. В. ТРЕТЯК

АНАЛІЗ ПРИЧИН ПОШКОДЖЕННЯ ТУРБОГЕНЕРАТОРІВ ТА ГІДРОГЕНЕРАТОРІВ ШЛЯХОМ ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДНОНАПРУЖЕНОГО СТАНУ ДЕТАЛЕЙ

АНОТАЦІЯ Виконано аналіз можливих причин виникнення аварійних ситуацій у процесі експлуатації турбогенераторів та гідрогенераторів при різноманітних режимах роботи. Проаналізовано доцільність заміни водневого охолодження генератора на повітряне з урахуванням геометричних обмежень розташування теплообмінного апарату у корпусі електрогенератора. Проведено детальний розрахунок теплового стану повітроохолоджувача генератора. Проведений розрахунковий аналіз показав, що розроблений повітроохолоджувач забезпечує надійну роботу турбогенератора на всіх режимах роботи та гарантує 35 % запас по тепловому навантаженню.

Ключові слова: турбогенератор, гідрогенератор, ротор, статор, тепловий стан, пошкодження, складнонапружений стан.

K. KOBZAR, O. SHUT, O. OVSIANNIKOVA, O. SENETSKYI, O. TRETIAK

ANALYSIS OF CAUSES OF TURBOGENERATORS AND HYDROGENERATORS DAMAGES BY THE METHOD OF DETERMINATION OF COMPLICATED STRESSED STATE OF THE PARTS

ABSTRACT The analysis of possible causes of emergency situations in the operation of large electric machines at different operating modes was carried out in order to find the ways of improvement of Turbogenerators and Hydrogenerators reliability. Due to the fact that the generators shall be free from damage and residual deformations and withstand for 2 minutes emergency increasing of rotational speed of 20 % above rated one, and upon the inquiry of the Customer, the generators can be manufactured that allow emergency increasing of rotational speed up to 30% higher than the rated one, it is necessary to carry out calculations of complicated stressed state by the methods of finite elements and CFD. The article shows the main causes of damage of the stator group parts, namely damage of the insulation and emerge of "fretting effect" of active steel sheets. A scheme of crumbling development of active steel sheets of the core is submitted and indicated the necessity for a detailed calculation of the complicated stressed states of pressing elements "of active steel" of the core. The reasons for the deterioration of coolers operation is shown. A detailed calculation of the thermal state of the generator air cooler is carried out. The above design analysis showed that the designed air cooler provides reliable operation of the machine at all operating conditions and ensures 35 % of the heat load margin. The calculation is performed by CFD. A detailed three-dimensional modeling was carried out during the calculation. Indicated the basic ways of scientific development direction of mathematics tools that allow take into consideration all the problems of Turbogenerators and Hydrogenerators designing.

Key words: turbine generator, hydro generator, rotor, stator, thermal state, the damage, complex stress.

Вступ

Забезпечення безаварійної роботи турбогенераторів та гідрогенераторів залишається повністю не вирішеним завданням протягом усього періоду експлуатації електричних машин [1, 2]. З огляду на те, що більшість електростанцій покривають пікові навантаження мережі, то вихід з ладу однієї потужності може призвести до значних збоїв у енергосистемі в цілому. У роботах [3–5] детально описані основні елементи конструкцій турбо- та гідрогенераторів, а також принципи їх проектування.

Конструкція електричних генераторів повинна задовольняти вимогам [6], а відповідність генераторів вимогам стійкості до механічних зовнішніх чинників (в тому числі сейсмостійкості) повинні бути підтверджені розрахунками згідно [7, 8].

Машини повинні допускати тривалу роботу з номінальною потужністю та максимальним навантаженням, що перевищує номінальне в кілька разів, а проміжок часу критичного режиму може становити до 5 хв., при відхиленнях напруги $\pm 5\%$

й частоти $\pm 2\%$ номінальних значень, при цьому, під час критичних режимів напруга, що виникає при перевантаженні елементів статора та ротора генератора, не повинна перевищувати межі течучості, для забезпечення надійної роботи конструкції.

Як показує досвід, а також посилені вимоги до конструкцій роторів електрогенераторів, вузли та деталі повинні забезпечувати міцність вала генератора на крутильні коливання, які повинні підтверджуватися розрахунковим шляхом з подальшою експериментальною перевіркою.

Генератори повинні без пошкоджень й залишкових деформацій витримувати протягом 2 хв. аварійне підвищення частоти обертання на 20 % понад номінальної. На замовлення споживача можуть виготовлятися генератори, що допускають аварійне підвищення частоти обертання до 30 % понад номінальної. Існуючі методики дають великі похибки. Тому необхідно провести глибокий аналіз.

Постановка задачі

На теперішній час напрацювання деяких турбо- та гідрогенераторів, що експлуатуються на території України та близького зарубіжжя, перевищує 300 тис. год., саме тому необхідно розробити систему дистанційного аналізу стану генераторного обладнання електростанцій [9, 10]. Ця система дозволить аналізувати зміни характерних параметрів вузлів генераторів в процесі появи дефектів та створення бази знань, що зберігає дані про зміну основних параметрів конструкції в процесі зародження, розвитку й кінцевому пошкодженні вузлів. У подальшому результатом роботи стане експертна система, яка дасть можливість прогнозувати виникнення аварійних ситуацій, відстежувати необхідність проведення регламентних робіт, забезпечувати своєчасну зупинку та безаварійну роботу генератора. База знань буде об'єднувати весь обсяг інформації про різні аварійні ситуації на електростанціях України та забезпечувати подальшу можливість самонавчання в режимі реального часу.

На теперішньому етапі створення системи дистанційного аналізу стану генераторного обладнання електростанцій проведемо аналіз дефектів виникаючих при експлуатації турбо- та гідрогенераторів.

Дефекти, що виникають при роботі генератора

Робота турбо- та гідрогенераторів пов'язана з виникненням складнонапруженого стану їх вузлів і деталей, але ступінь дії різного роду комбінованих навантажень відрізняється для кожного елементу генератора. Це ускладнює проведення розрахунків у комплексі. З метою виявлення найбільш уразливих частин електрогенеруючої машини проведено детальний аналіз пошкоджень, що виникають на генераторах при довгостроковій експлуатації.

За результатами проведеної статистичної обробки даних про виникнення типових аварійних ситуацій, які спостерігаються на електричних генераторах електростанцій, обумовлених відмовами різного роду, побудовано діаграми (рис. 1).

З рис. 1 видно, що найбільш уразливими частинами є статор, ротор, контактні кільця та струмовідводи. Слід відзначити, що увагу також треба приділити системі охолодження тому, що саме до неї приділяється велика увага по техніці безпеки через наявність водню у якості охолоджуючої середовища генератора.

Серед наведеного, слід зазначити, що детальна увага має надаватись конструкції статорів турбогенераторів та гідрогенераторів.

Найбільш серйозні пошкодження ізоляції лобових частин спостерігається в результаті дії електродинамічних сил. При дії яких лобові частини прагнуть наблизитися до натискних фланців

статора та зміститися по обертанню поля ротора. Виникаючі електродинамічні зусилля в змозі зруйнувати мотузкові бандажі та деформувати лобову частину. Досить високе переміщення виникає в лобових частинах під впливом температурних переміщень. Для ізоляції електричних машин це основна причина пошкодження обмоток внаслідок термомеханічного впливу. Від дії термомеханічного впливу та вібрацій в умовах підвищених температур відбуваються механічні пошкодження ізоляції у вигляді розшарування або утворення тріщин. Це викликає всередині діелектрика в газових включеннях з'являються часткові розряди, які і зумовлюють в кінцевому підсумку пробій ізоляції.

На рис. 2 наведено коронну активність, що спостерігалась в межах виділеної квадратом області. Випробування від стороннього джерела проводились при напрузі 31 кВ (розрядна активність в області виходу 9-го стержня з паза) для визначення характеристик часткових розрядів обмотки та рівня коронної активності. Критерієм успішності проведеного ремонту є відсутність вище наведених дефектів [11].

Також, характерними пошкодженнями електричної ізоляції є розтріскування. У зв'язку з тим, що цей дефект призводить до виникнення короткого замикання, та можливого пожежу, західні фірми наділяють багату увагу проблемам експлуатації стержнів. На рис. 3 показано розтріскування ізоляції внаслідок дії високих вібраційних навантажень.

Однією з похідних причин виникнення дефектів осердя статора є зменшення заpresовки осердя статора, та відсутність можливості збільшення питомого тиску на осердя статора. В гідрогенераторах ця проблема виникає внаслідок неможливості встановлення силових акумуляторів, східних по конструкції з турбогенераторами. І внаслідок виникає «фреттінг-ізнас» (рис. 4).

Схема розвитку розкрашування листів активної сталі осердя зазначена на рис. 5. Для запобігання виникнення вищезазначеної проблеми необхідно проводити детальні розрахунки складнонапруженого стану пресуючих елементів «активної сталі» осердя [12].

Особливе місце в конструкції турбогенератора є охолоджувач (теплообмінник). У процесі всього циклу експлуатації генератора нормальний технічний стан охолоджувача гарантує нормальну роботу загальної системи охолодження генератора. Як правило, охолоджувач є достатньо навантаженим елементом турбогенератора. Не зважаючи на достатню увагу до конструкції та постійний технічний огляд мають місце наступні дефекти: закупорка трубок (рис. 6), розтріскування охолоджуючої поверхні, руйнування фланців та ін. Тому в процесі проектування важливою задачею є розрахунок теплових полів охолоджувача, для забезпечення надійності роботи генератора.

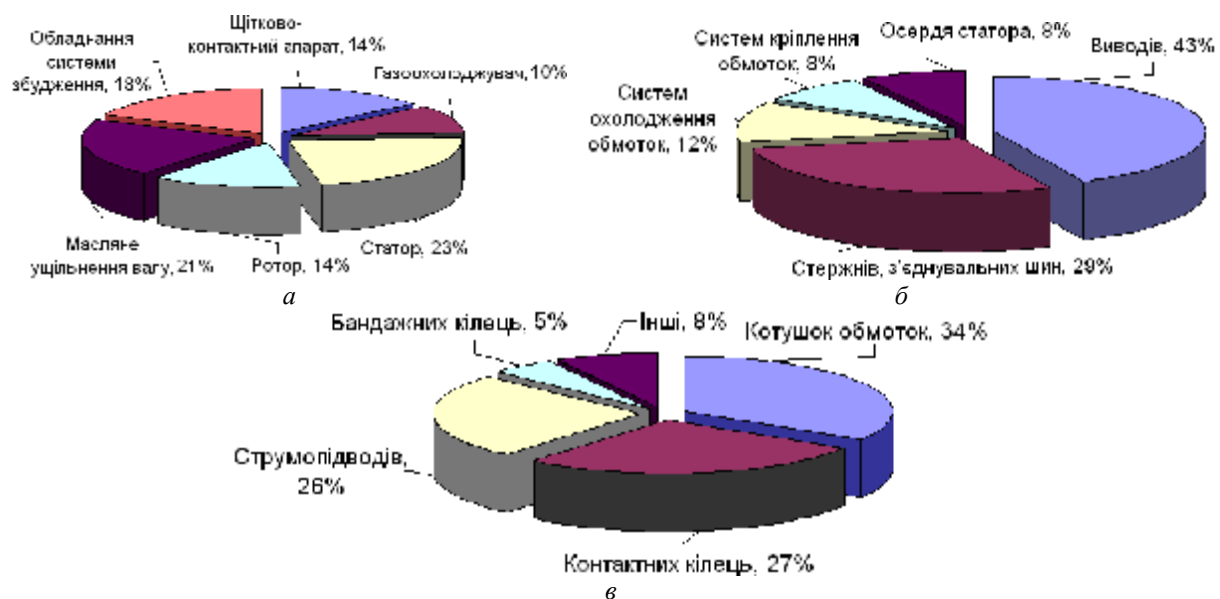


Рис. 1 – Діаграми даних про виникнення типових аварійних ситуацій електрогенераторів: а – загальна картина пошкоджень; б – пошкодження статора; в – пошкодження ротору

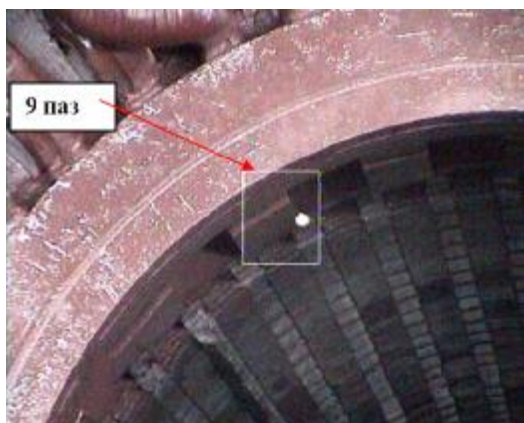


Рис. 2 – Замикання листів активної сталі турбогенератора



Рис. 3 – Розтріскування ізоляції

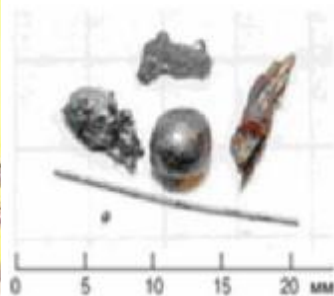


Рис. 4 – Результати фізичного зносу елементів генератора: а – обломки з фретінг-ізносом; б – осколки елементарних листових сталей, краплі розплавленого металу та окатиш з порошку намагніченого заліза, що утворився у результаті віброударної взаємодії у вузлах кріплення сердечника з наборними призмами; в – стирання вузлів кріплення бандажних кілець до кронштейну

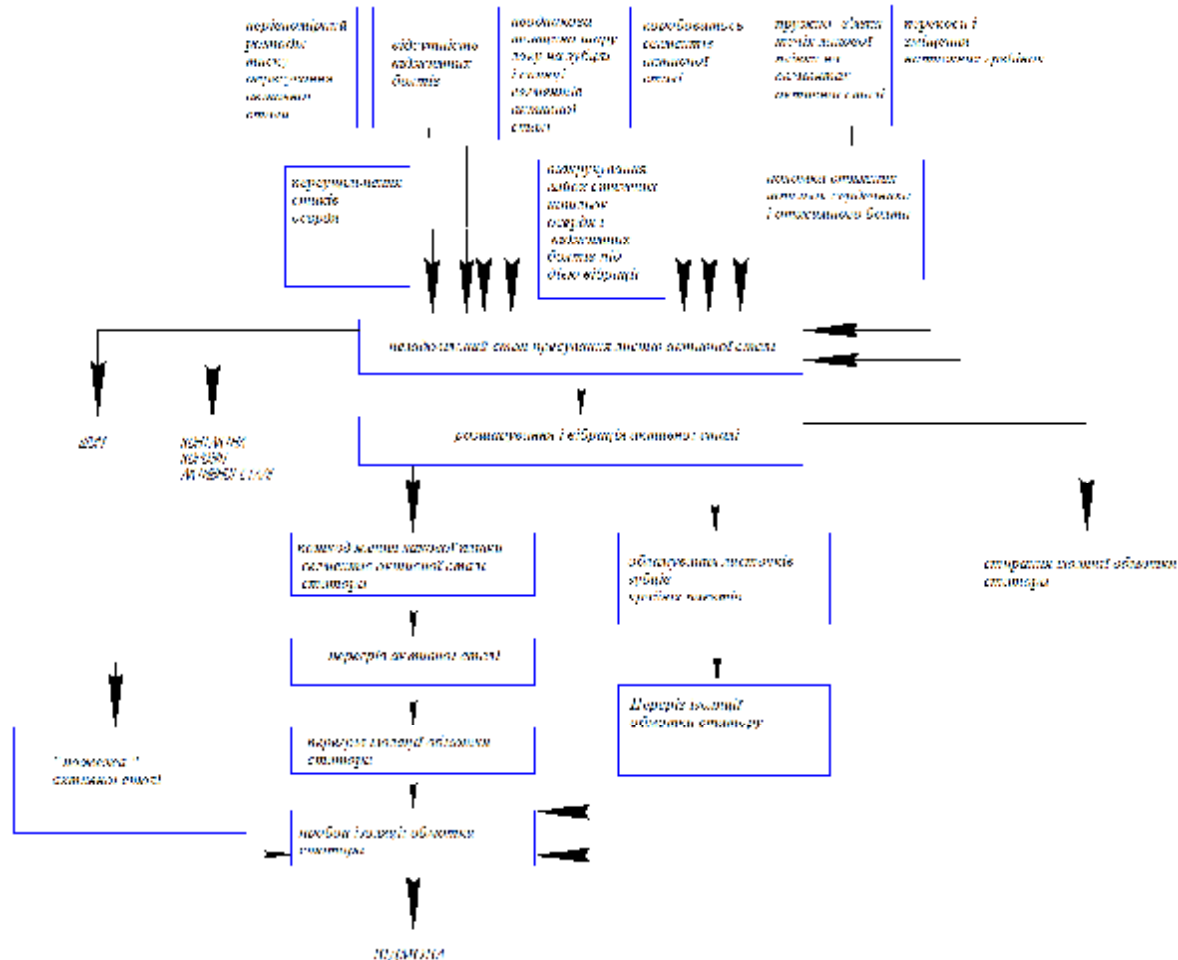


Рис. 5 – Схема розвитку розкрашування листів активної сталі осердя

Визначення теплового стану охолоджувача генератора

Для того, щоб визначити тепловий стан охолоджувача необхідно провести детальний розрахунок теплового стану повітроохолоджувача. Будь-яке застосування обчислювальної гідродинаміки складається з послідовних етапів, які виконуються з використанням спеціального програмного забезпечення і виконуються в три етапи:

Підготовчий етап. На даному етапі формується геометрія моделі, формулюються необхідні фізичні умови, геометрія дискретизується, задаються початкові і граничні умови диференціальних рівнянь.

Розрахунок. На цьому етапі машина, за заданим алгоритмом, чисельно вирішує основні рівняння з точки зору фундаментальних фізичних параметрів (швидкість, тиск, щільність, температура, ентальпія і т.д.), а також записує результати рішення в пам'ять.

Аналіз. Результати рішення відображаються у вигляді графіків, таблиць, а також контурних векторних схем, прив'язаних до вихідної геометрії.

При визначенні теплового стану повітроохолоджувача було розраховано тепловий стан повітроохолоджувача з трубками з використання ліцензованого програмного комплексу *SolidWorks*. У *CosmosFloWorks* рух і теплообмін плинного середовища моделюється за допомогою рівнянь Нав'є-Стоксу, що описують в нетрадиційній постановці закони збереження маси, імпульсу та енергії цього середовища

$$\frac{\partial r}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_k} (r u_k) = 0,$$

$$\frac{\partial r u_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_k} (r u_i u_k - t_{i,k}) + \frac{\partial p}{\partial x_i} = S_i,$$

$$\frac{\partial r E}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_k} ((r E + p) u_k + q_k - t_{i,k} u_i) = S_k u_k + Q_H.$$

Крім того, використовується рівняння стану компонентів плинного середовища, а також емпіричні залежності в'язкості й теплопровідності цих матеріалів від температури. Цими рівняннями моделюються турбулентні, ламінарні та перехідні процеси (перехід визначається критичними значеннями числа Рейнольдса).

Для течії в серійному охолоджувачі турбогенератора потужністю 200 МВт з водневим охолоджувачем характерне число Рейнольдса відповідає турбулентному режиму течії робочого тіла.

При моделюванні турбулентних течій рівняння Нав'є-Стокса усереднюються по Рейнольдсу, тобто використовується усереднений по малому масштабу часу вплив турбулентності на параметри потоку, а великомасштабні тимчасові зміни усереднених по малому масштабу часу складових газодинамічних параметрів потоку (тиск, швидкість, температура) враховують введенням відповідних похідних за часом. В результаті рівняння мають додаткові члени – напругу по Рейнольдсу. Детально опис математичного апарату по розрахунку руху і теплообміну плинного середовища у програмному комплексі *SolidWorks Flow Simulation* наведено у [13].

При вирішенні задачі визначення інтенсивності теплового стану охолоджувача турбогенератора було враховано параметри системи охоло-

дження генератора. На основі отриманих результатів побудовано поля швидкостей та температур повітря (рис. 7 та 8).

Проведений аналіз показав, що розроблений повітряохолоджувач забезпечую надійну роботу турбогенератору на всіх режимах роботи і гарантує 35 % запасу по тепловому навантаженні.

Однак, незважаючи на поглиблений аналіз та зазначені зміни й нововведення у розрахункових моделях, лишається ще велике коло не розв'язаних задач. Серед яких є такі, що потребують заміни трубок охолоджувача на сталь марки 18ХН9Т, або схожі аналоги, що дозволять позбутися корозії поверхонь теплообмінника. Використання нержавіючих сталей дозволить значно знизити забруднення води оксидами мідних та алюмінієвих сплавів. Введення нових композитних матеріалів також дозволить подовжити термін використання охолоджувачів.

З урахуванням наведеного, питання закупки трубок будуть зведені майже на нівець.



Рис. 6 – Закупорка трубок

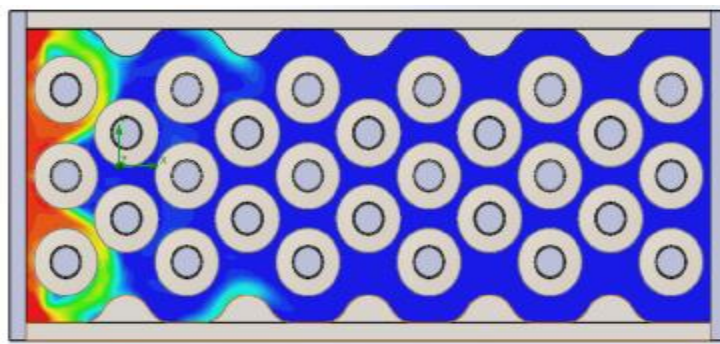
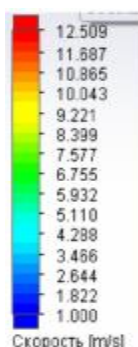


Рис. 7 – Поля швидкостей повітря

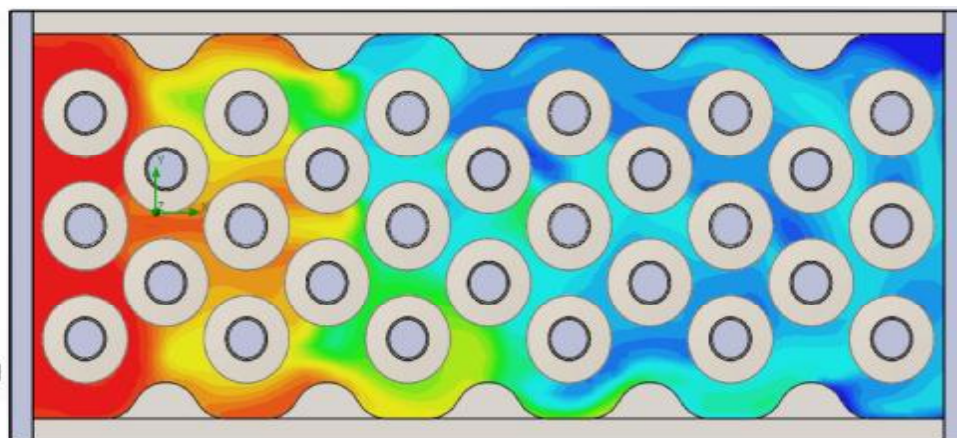
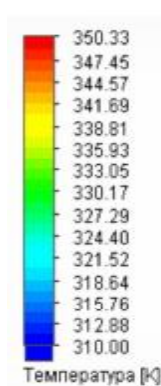


Рис. 8 – Поля температур повітря

Висновки

На даному етапі проведено детальний розгляд основних проблем виникнення аварійних ситуацій турбогенераторів та гідрогенераторів. Зазначено основні шляхи напрямку наукового розвитку математичного апарату, що дозволить врахувати всі проблеми проектування турбогенераторів та гідрогенераторів. Представлено розрахунок охолоджувача типової конструкції турбогенератору та гідрогенератору.

Список літератури

- 1 Назояин, А. Л. Управление развитием дефектов на работающем генераторе [Текст] / А. Л. Назояин, В. И. Поляков // Электрические станции. – 2006. – № 1. – С. 49–52.
- 2 Алексеев, Б. А. Определение состояний (диагностика) крупных турбогенераторов [Текст] / Б. А. Алексеев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : ЭНАС, 2001. – 152 с. – ISBN 5-93196-097-X.
- 3 Алексеев, А. Е. Конструкция электрических машин [Текст] / А. Е. Алексеев. – М.-Л. : Госэнергоиздат, 1958. – 427 с.
- 4 Данилевич, Я. Б. Добавочные потери в электрических машинах [Текст] / Я. Б. Данилевич, Э. Г. Кашарский. – М. : Госэнергоиздат, 1963. – 214 с.
- 5 Кашарский, Э. Г. Потери и нагрев в массивных роторах синхронных машин [Текст] / Э. Г. Кашарский, Н. Б. Чегоданова, А. С. Шапиро. – Л.: Наука, 1968. – 200 с.
- 6 ГОСТ 533-85. Машины электрические вращающиеся. Турбогенераторы. Общие технические условия. – Введ. 01.01.1986. – М. : Изд-во стандартов, 1986. – 17 с.
- 7 ГОСТ 17516.1-90. Изделия электротехнические. Общие требования в части стойкости к механическим внешним воздействующим факторам. Межгосударственный стандарт. – Введ. 01.01.93. – М. : Стандартинформ, 1993. – 46 с.
- 8 Турбогенераторы. Расчет и конструкция [Текст] / В. В. Титов, Г. М. Хуторецкий, Г. А. Загородная и др. – Л. : Энергия, 1967. – 896 с.
- 9 Троицкий, А. И. Исследование служебных характеристик металла крепежа корпусов турбин мощностью 300 МВт, отработавших нормативный срок [Текст] / А. И. Троицкий, В. И. Гладштейн // Теплоэнергетика. – 2009. – № 2. – С. 66–72. – ISSN 0040-3636.
- 10 Черноусенко, О. Ю. Расчетное исследование индивидуального ресурса корпусов ЦВД, ЦСД, корпусов стопорных клапанов и роторов К-200-130 блока 200 МВт [Текст] / О. Ю. Черноусенко // Э Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2007. – № 2. – С. 64–70. – Бібліогр. : 9 назв. – ISSN 2078-774X.
- 11 Самородов, Ю. Н. Дефекты и неисправности генераторов [Текст] / Ю. Н. Самородов. – М. : НТФ «Энергопрогресс», 2005. – 100 с.
- 12 Обнаружение дефектов гидрогенераторов [Текст] / Л. Г. Мамиконянц, Ю. М. Элькин, Ю. В. Петров

и др.; под ред. Л. Г. Мамиконянца, Ю. М. Элькина. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 231 с.

- 13 Алямовский, А. А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation [Текст] / А. А. Алямовский. – М. : ДМК Пресс, 2010. – 464 с. – ISBN 978-5-94074-586-0.

Bibliography (transliterated)

- 1 Nazojain, A. L. and Polyakov, V. I. (2006), "Management of development defects on the generator running", *Elektricheskie stantsii*, no. 1, pp. 49–52.
- 2 Alekseev, B. A. (2001), *Opreделение sostoyaniya (diagnostika) krupnykh generatorov* [Definition of states (diagnosis) of large turbine generators], ENAS, Moscow, Russia.
- 3 Alekseev, A. E. (1958), *Konstruktsiya elektricheskikh mashyn* [The design of electrical machines], Gosjenergoizdat, Moscow, Russia.
- 4 Danilevich, Ya. B. and Kasharskiy, E. G. (1963), *Dobavochnye poteri v elektricheskikh mashynah* [Additional losses in the electrical machines], Gosenergoizdat, Moscow, Russia.
- 5 Kasharskiy, E. G., Chemodanov, N. B. and Shapiro, A. S. (1968), *Poteri i nagrev v massivnykh rotorah sinhronnykh mashyn* [Losses and heating in the massive rotors synchronous machines], Nauka, Leningrad, Russia.
- 6 State Committee (1986), 533-85: *Mashiny elektricheskie vrashchayushchiesya. Turbogeneratory. Obshchie tehnikheskie trebovaniya* [533-85 Machines electric rotating. Turbogenerators. General technical conditions], Publishing House of Standards, Moscow, Russia.
- 7 State Committee (1993), 17516.1-90: *Izdeliya elektrotehnicheskije. Obshchie trebovaniya v chasti stoykosti k mehanicheskim vneshnim vozdeystvuyushchim faktoram. Mezghosudarstvennyy standart* [17516.1-90 Products Electrotechnical. General requirements in part of resistance to mechanical external affecting factors. Interstate standard], Standartinform, Moscow, Russia.
- 8 Titov, V. V., Hutoretskiy, G. M., Zagorodnaja, G. A. et al. (1967), *Turbogeneratory. Raschet i konstruktsiya* [Turbogenerators. Calculation and design], Jenergiya, Leningrad, Russia.
- 9 Troitskiy, A. I. and Gladshiteyn, V. I. (2009), "Research of official characteristics of the metal fasteners casings of turbines of 300 MW, exhaust standard period", *Teploenergetika*, no. 2, pp. 66–72.
- 10 Chernousenko, O. Yu. (2007), "Calculated research of individual resource of corps HPC, MPC, housings stop valves and rotors K-200-130 unit 200 MW", *Bulletin of NTU "KhPI". Series: Power and heat engineering processes and equipment*, no. 2, pp. 64-70.
- 11 Samorodov, Yu. N. (2005), *Defekty i neispravnosti generatorov* [Defects and malfunction of generator], Jenergoprogress, Moscow, Russia.
- 12 Mamikonjants, L. G., El'kind, Yu. M., Petrov, Yu. V. et al. (1985), *Obnaruzhenie defektov gidrogeneratorov* [Detecting defects of hydrogenerators], Jenergoatomizdat, Moscow, Russia.
- 13 Aljamovskiy, A. A. (2010), *Inzhenernye raschety v SolidWorks Simulation* [Engineering calculations in SolidWorks Simulation], DMK Press, Moscow, Russia.

Сведения об авторах (About authors)

Кобзар Костянтин Олександрович – головний конструктор з турбогенераторів, ДП «ЗАВОД «ЕЛЕКТРОВАЖМАШ», 61089, Україна, м. Харків, пр-т Московський, 299; e-mail: kk7@ukr.net.

Kobzar Kostyantyn – SE “Plant“ Electrotvazhmash”, Chief Designer on Turbogenerators, 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.

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

Овсянникова Олена Олександрівна – інженер конструктор I кат. сектору механічних розрахунків, ДП «ЗАВОД «ЕЛЕКТРОВАЖМАШ», 61089, Україна, м. Харків, пр-т Московський, 299; e-mail Ovsyannikova.Elena90@mail.ru.

Ovsiannykova Olena – Designer-Engineer of the I-st category of Sector on Mechanical Calculations, 299 Moskovsky Ave, SE “Plant“ Electrotvazhmash”, 61089, Kharkov, Ukraine.

Сенецький Олександр Володимирович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник оптимізації конструкцій і процесів турбомашин, Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України, ул. Пожарского 2/10, м. Харків, Україна, 61046; e-mail: aleksandr-seneckij@ukr.net, ORCID 0000-0001-8146-2562.

Senetskiy Olexandr – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Senior Research Fellow, Senior Research Fellow in optimization of processes and designs of turbomachinery Department, A.N. Podgorny Institute For Mechanical Engineering Problems NAS of Ukraine, Str. Pozharsky 2/10, Kharkov, Ukraine, 61046.

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.

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

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Кобзар, К. О. Аналіз причин пошкодження турбогенераторів та гідрогенераторів шляхом визначення складнонапруженого стану деталей [Текст] / **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.

Please cite this article as:

Kobzar, K., Shut, O., Ovsiannykova, 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.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Кобзарь, К. А. Анализ причин повреждения турбогенераторов и гидрогенераторов путём определения сложнонапряжённого состояния деталей [Текст] / **К. А. Кобзарь, А. Ю. Шуть, Е. А. Овсянникова, А. В. Сенецкий, А. 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.

АННОТАЦИЯ Выполнен анализ возможных причин возникновения аварийных ситуаций в процессе эксплуатации турбогенераторов и гидрогенераторов при различных режимах работы. Проанализирована целесообразность замены водородного охлаждения генератора на воздушное с учётом геометрических ограничений расположения теплообменного аппарата в корпусе электрогенератора. Проведён детальный расчёт теплового состояния воздухоохладителя генератора. Проведённый расчётный анализ показал, что разработанный воздухоохладитель обеспечивает надёжную работу турбогенератора на всех режимах работы и гарантирует 35 % запаса по тепловой нагрузке.

Ключевые слова: турбогенератор, гидрогенератор, ротор, статор, тепловое состояние, повреждение, сложнонапряжённое состояние.

Надійшла (received) 15.01.2016