



УДК 621.313

**ВАКУЛЕНКО А.Н.**, зам. зав. отд. проектирования  
гидрогенераторов, ГП з-д "Электротяжмаш", г. Харьков.

## ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ И СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ГИДРОГЕНЕРАТОРА-ДВИГАТЕЛЯ ДНЕСТРОВСКОЙ ГАЭС

*Описаны особенности конструкции и системы охлаждения гидрогенератора-двигателя Днестровской ГАЭС. Описаны основные направления необходимых исследований машины с целью усовершенствования ее конструкции и повышения надежности.*

**Г**идрогенератор-двигатель типа СВО 1255/255-40 УХЛ4 ст. № 1 изготовлен в 2006–2008 гг. на Харьковском ГП заводе "Электротяжмаш", установлен на Днестровской ГАЭС и предназначен для использования в качестве источника пиковой мощности, аварийного и частотного резерва, потребителя энергии в часы провалов графика нагрузки, а также источника и потребителя реактивной мощности.

В качестве системы охлаждения гидрогенератора-двигателя принята косвенная, с воздушным охлаждением обмоток статора и ротора и замкнутым циклом самовентилиации с охлаждением воздуха в воздухоохладителях, установленных на наружной поверхности корпуса статора.

Конструктивно подача охлаждающего воздуха в ротор осуществляется двумя потоками: нижний поток проходной через 12 каналов в фундаменте, а верхний – между перекрытиями верхней крестовины и верхним воздухоотделяющим щитом.

При этом циркуляция воздуха при охлаждении обеспечивается действием элементов ротора за счет напорного действия спиц ротора каналов в ободе ротора, полюсов и центробежных вентиляторов, установленных на торцах обода. Общая схема вентиляции гидрогенератора-двигателя показана на Рис. 1.

Ниже подробное описание особенности конструкции элементов охлаждения гидрогенератора-двигателя.

### Охлаждение воздуха.

Согласно требованиям к условиям эксплуатации, температура охлаждающего воздуха на выходе из воздухоохладителей не должна превышать + 35 °С. При этом максимальное значение температуры охлаждающей воды на входе в воздухоохладители и маслоохладители + 25 °С. Расчетный тепловой поток (потери отводимые воздухоохладителем составили около 5,16 МВт, а расход охлаждающего воздуха составил 165 м<sup>3</sup>/с.)

Для обеспечения необходимых параметров по охлаждению в наружной обшивке корпуса ста-

тора выполнены 12 окон-проемов, на которых установлены патрубки с воздухоохладителями (по два охладителя на один проем и подключением по воде двух последовательно).

Ниже приведены **основные параметры воздухоохладителя:**

Материал трубок – медноникелевый сплав CuNi30Fe1Mn (мельхиор);

Материал оребрения – алюминиевый толщиной 0,14 мм;

Мощность – 238,25 кВт;

Расход воздуха – 6,875 м<sup>3</sup>/сек

Расчетное давление воздуха – 1,013 бар;

Температура воздуха на входе – 65 °С;

Температура воздуха на выходе – 35 °С;

Падение давления по воздуху – 184 Па;

Скорость воздуха – 3,76 м/с;

Расход воды – 83,3 м<sup>3</sup>/ч;

Температура воды на входе в первый воздухоохладитель – 25 °С;

Температура воды на выходе из второго воздухоохладителя – 29,9 °С;

Скорость воды в трубках – 2,54 м/с;

Таким образом количество и характеристики установленных воздухоохладителей полностью соответствуют расчетной документации и эксплуатации.

### Охлаждение масла верхнего направляющего подшипника (ВНП).

Для смазки и охлаждения сегментов ВНП используется масло турбинное марки Тп-30 ГОСТ 9972-74.

Расчет подшипника производится при действии усилия на подшипник от эксцентричного положения ротора в статоре (15 % от расчетного значения воздушного зазора). Расчет максимальной температуры в масляной пленке, выполнялся с учетом теплоотдачи в тело подшипника и окружающую среду.



При этом максимальная температура в смазывающем слое при температуре сегмента  $t_B = 60\text{ }^\circ\text{C}$ , с учетом отвода тепла не только в масло в ванне, но и в тело подшипника и окружающую среду  $t_{\text{max}} = 71\text{ }^\circ\text{C}$  [1, 2].

На основании полученных основных статических и гидродинамических параметров подшипника:

- минимальная толщина масляной пленки – 0,054 мм;
  - максимальная температура масла в рабочей зоне – 71 °С;
  - потери мощности на трение – 75 кВт
- был рассчитан и спроектирован маслоохладитель со следующими параметрами [3]:

Материал трубок охлаждения

– МНЖМц-30-80-1 (мельхиор);

Коэффициент теплопроводности мельхиора

– 0,0293 кВт/м·К;

Температура холодного масла в ванне – 40 °С;

Температура холодной воды – 25 °С;

Температура масла на входе в масляный слой – 45 °С;

Расход воды через все маслоохладители

– 40 м<sup>3</sup>/ч;

Количество трубок – 54.

Количество охладителей в маслованне – 6, соединенных три последовательно в две параллельные ветви по воде.

#### **Охлаждение масла в маслованне подпятника**

Для смазки и охлаждения сегментов подпятника (упорного подшипника) также используется масло турбинное марки Тп-30 ГОСТ 9972-74.

Учитывая уникальность проектируемого двухрядного подпятника на гидравлической опоре с нагрузкой на него в двигательном режиме работы до 3200 тонн особое внимание уделено эффективному охлаждению масла с учетом предельно высокой расчетной температуры масла в смазочном слое около 110 °С

При этом расчетные гидродинамические потери в подпятнике составили:

- для генераторного режима – 923 кВт;

- для двигательного режима – 910 кВт.

На основании этих параметров был рассчитан и спроектирован маслоохладитель со следующими параметрами [4]:

Материал трубок

– МНЖМц-30-80-1 (мельхиор);

Количество трубок – 540;

Отводимые потери – 130 кВт;

Температура холодного масла – 40 °С;

Температура масла на входе – 45 °С;

Суммарный расход воды через все маслоохладители – 400 м<sup>3</sup>/ч;

В ванне подпятника установлены 10 маслоохладителей, соединенных в 5 параллельных ветвей по 2 последовательно по воде.

Отдельным фактором, влияющим на продолжительность эксплуатации оборудования и его долговечность, является влажность охлаждающего воздуха в системе вентиляции гидрогенератора. Повышение влажности воздуха происходит в основном при попадании влажного холодного воздуха из шахты турбины в шахту генератора и проявляется увлажнением его поверхностей, в первую очередь элементов обмотки статора и ротора.

Увлажнение обмоток статора и ротора, особенно при длительных стоянках агрегата приводит к необходимости принятия специальных мер по обеспечению сушки обмоток. Традиционно применяются несколько способов сушки:

- током короткого замыкания;

- постоянным током, подаваемым в обмотку;

- вентиляционными потерями при вращении агрегата на холостом ходу;

- комбинированным способом - вентиляционными потерями в сочетании с методом короткого замыкания.

Использование полноценного способа вентиляционных потерь для гидрогенератора-двигателя практически невозможно в связи с ограниченностью объема воды в бассейне верхнего водоема.

Конструктивно предотвращение увлажнения возможно при обогреве и продувке обмоток при помощи встроенных электронагревателей и воздуходувок, которые бы включались автоматически при снижении температуры на поверхности обмотки до определенного уровня, а также исключения попадания холодного воздуха из шахты турбины путем уплотнения зазора между ванной подпятника и перекрытием шахты.

Предлагается выполнить работы по установке электронагревателей и уплотняющего щита на гидрогенераторе-двигателе ст. №1 при ближайшем капитальном ремонте, а также внести данные изменения в конструкцию последующих гидрогенераторов-двигателей. При этом рекомендуется выполнять контроль влажности воздуха в камере холодного воздуха.

Практика эксплуатации гидрогенератора-двигателя СВО 1255/255-40 УХЛ4 ст. №1 Днестровской ГАЭС показала достаточно высокую точность выполненных расчетов и правильность принятых конструктивных решений при обеспечении охлаждения узлов гидрогенерато-

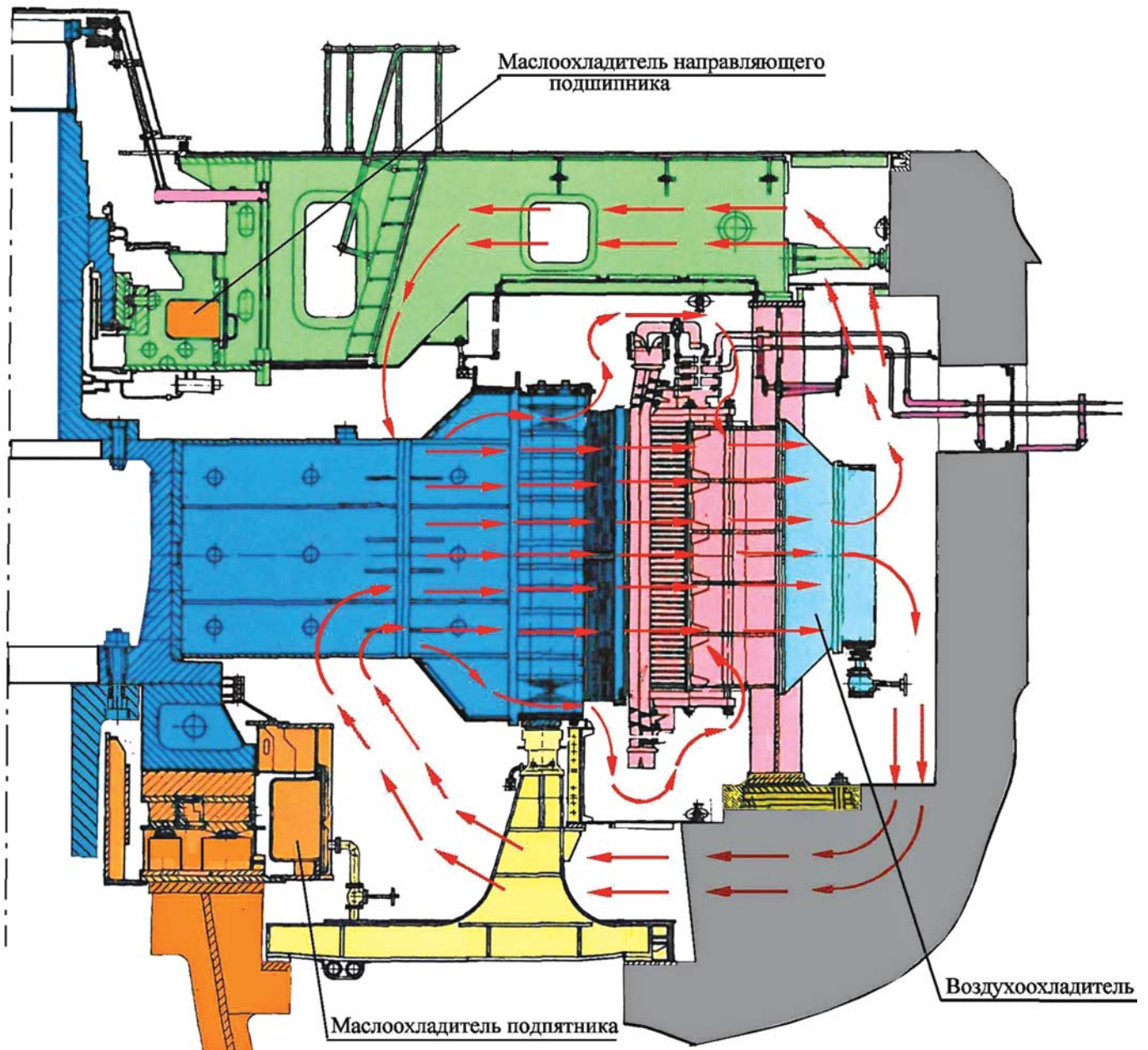


Рис. 1.

ра-двигателя – температура всех активных его элементов во всех режимах эксплуатации не превышает допустимых значений. Средняя температура в двигательном режиме при активной мощности 408МВт составила:

- холодный воздух – 27,4 °С;
- горячий воздух – 46,0 °С;
- обмотка статора – 82,4 °С;
- сердечник статора – 66,5 °С.

Полные результаты тепловых испытаний представлены в статье [6].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Воскресенский В.А., Дьяков В.И. Расчет и проектирование опор скольжения. – М.: Машиностроение, 1980.

2. Сайног Г.И., Черемисов И.Я. Гидродинамический расчет направляющего подшипника ТХ116-2903/ГП завод "Электротяжмаш", 2002.

3. Сайног Г.И., Черемисов И.Я. Теплогидравлический расчет маслоохладителя подшипника ТХ116-2904/ГП завод "Электротяжмаш", 2002.

4. Сайног Г.И., Черемисов И.Я. Теплогидравлический расчет маслоохладителя подпятника ТХ116-2904 /ГП завод "Электротяжмаш", 2002.

5. Техническое задание БИЛТ.650051.015ТЗ "Синхронный обратимый вертикальный гидрогенератор-двигатель для Днестровской ГАЭС", 2006.

6. Поташик С.И., Грубой А.П., Шофул А.К., Кошелев В.В., Лицов В.И., Логвинов В.П., Битюцкий Н.Л., Бузивский О.В., Берченко Ю.Н. Результаты электрических и тепловых испытаний гидрогенератора-двигателя СВО 1255/255-40УХЛ4 ст.№1 Днестровской ГАЭС/ Гидроэнергетика Украины. – 2011.– № 1. – С. 2–12.

© Вакуленко А.Н. 2011

