

УДК 621.3

## СОВРЕМЕННЫЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ УПЛОТНЕНИЯ ВАЛА ГЕНЕРАТОРОВ И ИХ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Кондратеня В.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Булат В.А.

Система маслоснабжения генератора предназначена для создания масляных затворов в местах прохода ротора через наружные щиты статора, с целью предотвращения выхода наружу водорода из корпуса генератора. Система уплотнения вала генератора создаёт безопасные условия эксплуатации системы водородного охлаждения ротора генератора, так как не допускает выход водорода в помещение машинного зала.

Система уплотнений вала генератора включает в себя: резервный маслонасос с электродвигателем (ЭД) переменного тока (РМНУ); аварийный маслонасос с ЭД постоянного тока (АМНУ); инжектор системы уплотнения вала генератора (УВГ); маслоохладитель уплотнений вала генератора; два масляных фильтра; демпферный масляный бак; затвор гидравлический типа ЗГ-500-УЗ; регулятор давления уплотняющего масла типа РПД-14; эксгаустер типа ЦВ; охладитель масляных паров (маслоуловитель); кольцевые масляные уплотнения вала генератора со стороны турбины и со стороны возбуждителя генератора; КИП, трубопроводы и арматура (рисунок 1).



Рисунок 1 – Система уплотнений вала генератора

В цилиндрических уплотнениях в качестве прижимающей силы используется только сила тяжести самого вкладыша. В уплотнениях торцевого типа прижимающее усилие может создаваться давлениями водорода, масла, пружинами. Уплотнения цилиндрического типа требуют установки арматуры для вакуумной маслоочистки вследствие большего зазора, увеличенного расхода масла и его загрязнения. Но цилиндрические уплотнения проще в монтаже и эксплуатации, как правило, не повреждаются в режимах полусухого трения и при нарушениях маслоснабжения, нечувствительны к аксиальным перемещениям вала ротора. С цилиндрическим уплотнением выполнены генераторы мощностью 500 МВт и выше.

В генераторах мощностью 100–300 МВт применяют торцевые уплотнения, позволяющие получить относительно малые утечки водорода из генератора, что важно при повышенном давлении газа. Загрязнение масла водородом и воздухом незначительно из-за малых зазоров между валом и вкладышем. Однако монтаж торцевых уплотнений сложен, они чувствительны к тепловым расширениям вала и не допускают перерыва в снабжении маслом (при этом возникает полусухое трение, которое приводит к плавлению баббита и повреждению поверхности вала).

При проработке современной схемы были учтены характеристики производительности главного масляного насоса (ГМН) ( $Q = 280 \text{ м}^3/\text{ч}$ ), расход масла на уплотнение ( $7,2 \text{ м}^3/\text{ч}$ ) и смазку подшипников

У существующей схеме уплотнения вала генератора подача масла выполнена таким образом: масло с главного маслобака (ГМБ) подводится на всос масляного насоса УВГ, далее происходит подача насосом УВГ на регулятор перепада давления (РПД) после на демпферный бак. После демпферного бака масло поступает непосредственно на уплотнение (рисунок 2).

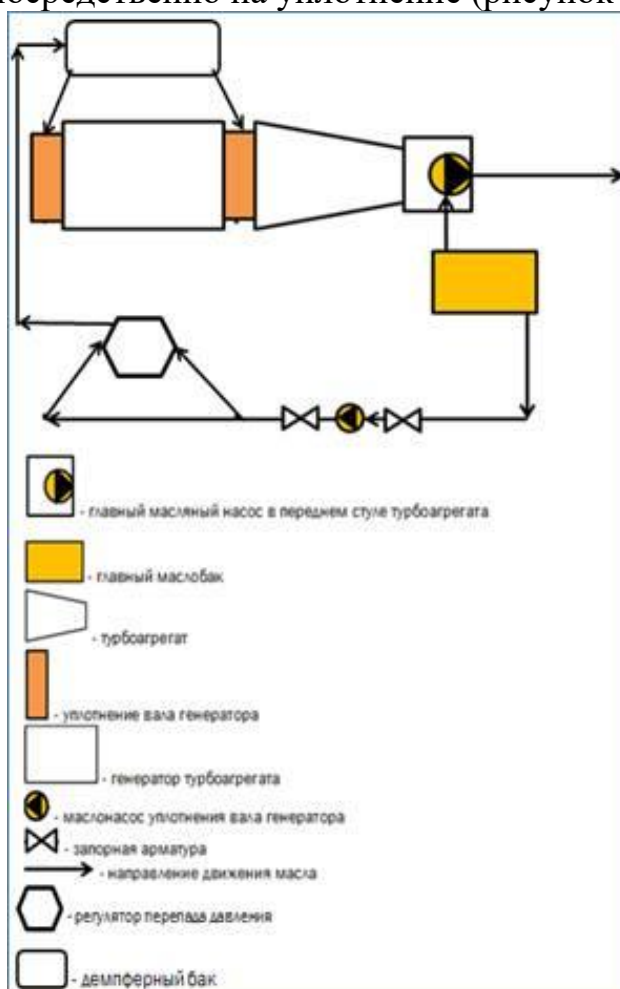


Рисунок 2 – Принципиальная схема уплотнения вала генератора

Подача масла в модернизированной схеме УВГ будет осуществляться с существующей нитки маслопровода на регулирование от ГМН на вновь смонтированный инжектор смазки, при этом от маслопровода на регулирование необходимо смонтировать новый маслопровод с врезкой в существующий

напорный маслопровод маслонасоса УВГ после запорной арматуры (ЗА) и смонтировать инжектор смазки. Далее схема работает по существующим маслопроводам. Инжектор смазки в данной схеме выполняет функцию дроссельной шайбы, выдерживает заданный расход на подачу масла на РПД. Насос УВГ остаётся в качестве резервного и вступает в работу от понижения давления в маслопроводе на уплотнения, всё необходимое для этого сделают специалисты КИП цеха (рисунок 3).

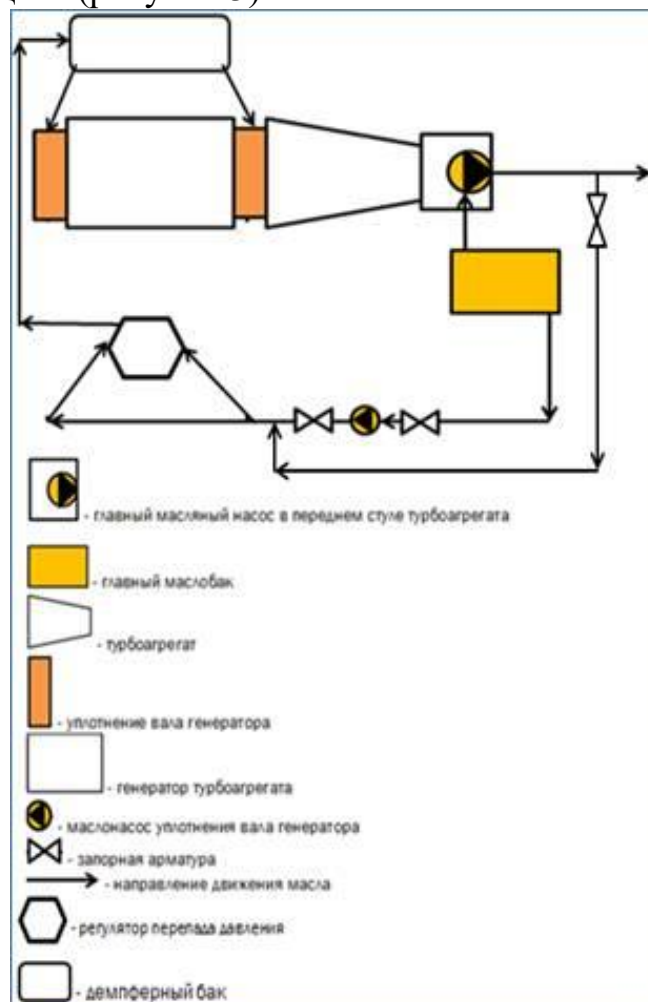


Рисунок 3 – Модернизированная схема уплотнения вала генератора

Для предприятий, на которых установлены электрические генераторы типа ТВФ-63-2Е с водородным охлаждением, представляет интерес внедрение подачи масла в модернизированной схеме УВГ.

При модернизации схемы достигается: экономия электроэнергии, снижение загруженности рабочего оборудования и, следовательно, затраты на ремонт. Внедрение такой схемы на объектах ТЭК особенно актуально в настоящее время в рамках реализации мероприятий энергосбережения.

#### Литература

1. Булаткин, В.А. Масляные уплотнения вала турбогенератора / В.А. Булаткин, И.Я. Гурьев, Р.М. Семкин. – М. : Энергия, 1970. – 72 с.
2. Петров, М.А. Модернизация схемы уплотнения вала генератора с водородным охлаждением / М.А. Петров. – М. : Портал Ростепло.ру, 2019.

УДК 621.3

**ОХЛАЖДЕНИЕ ГЕНЕРАТОРОВ ЖИДКИМ ГЕЛИЕМ**

Михеева А.В.

Научный руководитель – Потачиц Я.В.

Во время работы генератора его обмотки и активная сталь нагреваются. Для того чтобы температура нагрева не превышала допустимых значений генераторы выполняют с искусственным охлаждением. Длительно допустимая температура частей генератора зависит от класса нагревостойкости изоляции (для класса нагревостойкости изоляции «В» допустимая температура обмотки статора не более 105 °С, а ротора не выше 130 °С. Чтобы предотвратить перегрев изоляции, генераторы выполняют с искусственным охлаждением.

По способу отвода тепла от нагретых обмоток статора и ротора различают косвенное и непосредственное охлаждение.

При косвенном охлаждении охлаждающий газ (воздух или водород) с помощью вентиляторов, встроенных в торцы ротора, подается внутрь генератора и прогоняется через немагнитный зазор и вентиляционные каналы. При этом охлаждающий газ не соприкасается с проводниками обмоток статора и ротора и тепло, выделяемое ими, передается газу через значительный тепловой барьер – изоляцию обмоток.

При непосредственном охлаждении охлаждающее вещество (газ или жидкость) соприкасается с проводниками обмоток генератора, минуя изоляцию и сталь зубцов, т. е. непосредственно.

В настоящее время применяются:

- косвенное воздушное охлаждение обмоток статора и ротора;
- косвенное водородное охлаждение обмоток статора и ротора;
- непосредственное охлаждение обмотки возбуждения и косвенное охлаждение обмотки статора водородом;
- непосредственное охлаждение обмотки возбуждения водородом, а обмотки статора водой;
- непосредственное охлаждение обмоток водой;
- дальнейшим направлением развития систем охлаждения турбогенератора является применение криогенной системы – охлаждение обмотки ротора жидким гелием.

Воздушное охлаждение косвенное ротора и статора применяется в турбогенераторах мощностью до 25 МВт и в гидрогенераторах до 250 МВт. Проточная система охлаждения применяется для генераторов небольшой мощности. В этой системе воздух забирается из помещения и с помощью вентиляторов, насаженных на вал генератора, прогоняется через зазор между статором и ротором по вентиляционным каналам. При этом изоляция обмоток быстро загрязняется и срок службы генератора уменьшается.

Замкнутая система охлаждения предусматривает циркуляцию одного и того же объема воздуха по замкнутому контуру: из камеры холодного воздуха с помощью вентиляторов на валу генератора воздух нагнетается в машину, охлаждает поверхность статора и ротора, попадает в камеру горячего воздуха,

проходит через воздухоохладитель и вновь поступает в генератор. Для восполнения потерь воздуха за счет утечек предусматривается забор воздуха через масляные фильтры. Совершенствование системы воздушного охлаждения, применение многоструйного охлаждения позволили создать серию турбогенераторов ТФ мощностью от 3 до 180 МВт.

Водородное охлаждение косвенное турбогенераторов устроено по такой же схеме, как и воздушное.

Преимуществами применения водорода являются:

- большая теплопроводность;
- меньшая плотность;
- большой коэффициент теплоотдачи с поверхности.

Более эффективное охлаждение позволяет при тех же размерах увеличить мощность турбогенераторов на 15–20 %. Благодаря меньшей плотности водорода уменьшаются вентиляционные потери, в результате чего возрастает КПД на 0,8–1 %. Изоляция в среде водорода не окисляется, поэтому повышается срок службы изоляции обмоток.

Наличие водорода в системе охлаждения не избавляет от основного недостатка – взрывоопасности, поэтому дальнейшее совершенствование систем охлаждения турбогенераторов привело к системе, которую условно называют «три воды». В этой системе обмотки статора, ротора, магнитопровод и конструктивные части охлаждаются водой.

Непосредственное охлаждение обмотки статора маслом применено в турбогенераторе ТВМ. Охлаждение огнестойкой диэлектрической жидкостью позволяет применить для изоляции обмоток статора сравнительно дешевую бумажно-масляную изоляцию. Расходы на изоляцию обмоток таких генераторов в 4 раза меньше, чем в генераторах ТВВ и ТГВ той же мощности.

Бумажно-масляная изоляция статорной обмотки позволяет повысить напряжение до 35–110 кВ, т. е. включать генератор в сеть без повышающих трансформаторов. В этой системе охлаждения не только обмотка статора, но и магнитопровод охлаждаются маслом, поэтому статор отделяется от ротора изоляционным газонепроницаемым цилиндром, рассчитанным на высокое давление и расположенным в зазоре между ротором и статором.

Созданы опытные криогенные турбогенераторы мощностью в несколько тысяч кВт. В ближайшие годы будет построен промышленный криогенный агрегат на 300 МВт, а далее проектируются машины мощностью до 2 млн. кВт. Их отличительная особенность – полупроводниковый ротор, представляющий собой вращающийся криостат, где царят вакуум и температура в 4 °К; ее поддерживает непрерывный поток сжиженного гелия. Криогенная техника ляжет в основу будущих компактных и экономичных электрических машин.

#### Литература

1. Быстрицкий, Г.Ф. Основы энергетики / Г.Ф. Быстрицкий. – М. : ИНФРА-М, 2005. – 356 с.
2. Рыжкин, В.Я. Тепловые электрические станции / В.Я. Рыжкин. – М. : Энергия, 1976. – 241 с.