

Г. А. Иванов – студент факультета среднего профессионального образования (колледжа)
М. А. Королев – научный руководитель

СОВРЕМЕННЫЕ ГИДРОГЕНЕРАТОРЫ И ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ИХ КОНСТРУКЦИЙ

В представленном докладе будет изложена характеристика конструкции современных гидрогенераторов; указаны высокотехнологичные методы совершенствования конструкции гидроагрегатов; определена важность применения прогрессивных технологических процессов; а также отражены преимущества отечественного гидрогенераторостроения.

По сложности и масштабам решаемых задач в области гидроэнергетики, а также по единичной мощности гидроэлектростанций и гидроагрегатов Российская Федерация прочно занимает одно из первых мест в мире.

Отечественная гидроэнергетика непрерывно развивается в направлении увеличения мощности уже существующих ГЭС. В советское время на территории Российской Федерации были построены такие энергетические гиганты, как Братская, Усть-Илимская, Красноярская, Саяно-Шушенская ГЭС мощностью каждая 4 – 6 млн. киловатт. Этим предопределяется постоянный рост единичной мощности гидрогенераторов [2]

Российская Федерация занимает ведущее место в области производства гидрогенераторов, обеспечивая ими не только постоянно растущие внутренние потребности, но и поставляя значительную часть гидрогенераторов на экспорт.

Гидрогенераторы играют большую роль в современных энергосистемах не только как источники весьма дешёвой энергии, но и как механизмы, регулирующие нагрузку, поддерживающие частоту и обеспечивающие устойчивую работу единой энергосистемы нашей страны; вследствие этого с повышением мощности региональных энергосистем возрастает роль гидрогенераторостроения.

Предприятие «Электросила» является бесспорным лидером отечественного электромашиностроения. На нём впервые было освоено производство крупных электрических машин, в том числе и гидрогенераторов.

Отечественному гидрогенераторостроению насчитывается более 85 лет. Начало ему было положено изготовлением на заводе «Электросила» в 1926 г. весьма крупных по тому времени гидрогенераторов для Волховской ГЭС мощностью 7700 кВт.

На пущенной в 1932 г. Днепровской ГЭС мощность только одного агрегата составляла 62 МВт, т. е. превысила мощность всей Волховской ГЭС, насчитывающей 8 гидроагрегатов. [2]

В 1985 г. на Енисее в стадии завершения находилось сооружение крупнейшей в мире Саяно-Шушенской ГЭС с установленной мощностью 6400 МВт, на которой работало 10 агрегатов по 640 МВт, изготовленных в ЛПЭО «Электросила».

Среди всех типов электрических машин гидрогенераторы занимают особое место. Это связано с тем, что они характеризуются весьма низкими номинальными частотами вращения и поэтому превосходят все другие электрические машины по значениям вращающих моментов, по своим радиальным размерам и габаритам, массам вращающихся частей и общим массам машин, динамическим моментам инерции, нагрузкам на подшипники, расходам охлаждающего агента.

Размеры гидрогенераторов – самых материало- и трудоёмких электрических машин – определяют значительную длительность цикла их производства, необходимость использования при этом большого числа сложной технологической оснастки и специального мерительного инструмента, создаваемых заново для каждого нового типа машин.

В наши дни одним из главных факторов, определяющих конструкцию гидрогенератора, является, безусловно, положение оси его вала. Поэтому признаку все гидрогенераторы подразделяются на две группы: вертикальные и горизонтальные.

подавляющее число современных гидрогенераторов выполняется с вертикальным валом, что обусловлено спецификой привода – гидравлической турбины, а во многих случаях и невозможностью создания гидрогенераторов больших размеров в горизонтальном исполнении по условиям обеспечения необходимых жесткостей статора и ротора, а также выполнения подшипников соответствующей грузоподъемности. Сложность изготовления гидрогенераторов усугубляется ещё и тем, что в заводских условиях не представляется возможным произвести их полную сборку, и даже сборку некоторых узлов.

Большая единичная мощность при относительно малой частоте вращения неизбежно связана с большими размерами гидрогенераторов. Как правило, мощные тихоходные гидрогенераторы выполняются с вертикальным валом, что обусловлено невозможностью изготовления гидрогенератора больших размеров в горизонтальном исполнении.

В свою очередь, вертикальные гидрогенераторы подразделяются на два основных типа: зонтичный и подвесной. В современных зонтичных гидрогенераторах нижняя крестовина отсутствует и заменяется опорой на крышку турбины, такое исполнение является более конструктивным и более выгодным с экономической точки зрения. Также такая конструкция дает ряд значительных преимуществ, связанных с изготовлением генератора на заводе и выполнением сборочно-монтажных работ на ГЭС.

Второй тип вертикальных гидрогенераторов – подвесной гидрогенератор, имеющий подпятник, установленный над ротором на верхней крестовине. Данная конструкция в наши дни находит ограниченное применение, поскольку создание гидрогенератора такой конструкции приводит к значительным экономическим затратам.

Развитие работ по прямоточным машинам привело к созданию нового типа энергетического оборудования – капсульного гидроагрегата, состоящего из капсульного гидрогенератора и поворотно-лопастной турбины, совмещенных в одном корпусе и расположенных под водой. Капсульные гидроагрегаты, предназначены для низконапорных, русловых, приливных и перепадных ГЭС, они позволяют получить значительную экономию капиталовложений при строительстве гидросооружений.

Первые гидрогенераторы капсульного типа для Киевской и Каневской ГЭС имели мощность 16 МВт, позднее были изготовлены гидрогенераторы капсульного типа для Череповецкой ГЭС с единичной мощностью 20 МВт и для Саратовской ГЭС (45 МВт), все вышеперечисленные гидрогенераторы были изготовлены в ЛПЭО «Электросила».

В капсульных гидрогенераторах, изготовленных на Электросиле, обмотки статора и ротора имеют непосредственное водяное охлаждение, что обеспечивает необходимую мощность и уменьшает габариты гидроагрегатов.

Такие агрегаты характеризуются относительно небольшими частотами вращения и искусственно уменьшенными у генераторов радиальными размерами, что достигается использованием более эффективных принудительных систем охлаждения. Единичная мощность капсульных гидроагрегатов в основном не превышает 50 МВт, однако при необходимости она может быть значительно повышена. В конце 2010 года на предприятии «Электросила» были изготовлены 10 капсульных гидрогенераторов с единичной мощностью 72 МВт, они являются самыми мощными капсульными гидроагрегатами когда-либо изготовленными на Электросиле. Данные гидрогенераторы были отправлены на экспорт в Китайскую Народную Республику.

Качество и надёжность современных гидрогенераторов, а также трудоёмкость их изготовления в значительной степени зависят от технологичности конструкций, правильно построенного технологического процесса изготовления, применения специального оборудования и оснастки. В данной области решающая роль принадлежит технологической службе заводов, технологам и конструкторам.

В наши дни диаметры крупных гидрогенераторов достигают примерно 20 метров. При таких больших размерах генераторы выполняются разборными, причём масса и размеры отдельных частей должны удовлетворять условиям транспортировки.

Разборность, множество сопрягаемых узлов, деталей и мест крепления делают конструкцию гидрогенератора весьма сложной.

На заводе-изготовителе производится предварительная укладка обмотки в пазы статора – это очень ответственный и важный момент предварительной сборки гидрогенератора. Предварительная сборка осуществляется с целью выявления неправильных результатов технологических операций. Точность и надёжность отдельных узлов гидрогенераторов зависят от качества выполняемых технологических операций. Главной задачей технологов является обеспечение, обработка и сборка узлов гидрогенераторов, по возможности, на имеющемся оборудовании, на тех же площадях, без удлинения производственного цикла, с целью экономии денежных средств.

Увеличение мощности современных гидрогенераторов за счёт повышения электромагнитных нагрузок при обычной системе охлаждения не всегда целесообразно. При охлаждении гидрогенератора воздухом, когда напор создается вращением ротора, нагрев статорных обмоток тихоходных машин обычно превышает нагрев роторных обмоток. Поэтому в первую очередь необходима интенсификация охлаждения обмотки статора.

Наиболее целесообразной форсированной системой охлаждения гидрогенераторов большой мощности является непосредственное внутреннее охлаждение обмотки статора дистиллированной водой. По технико-экономическим показателям водяное охлаждение обмоток, являясь наиболее значительным достижением современного электромашиностроения, коренным образом меняет перспективу дальнейшего развития ГЭС. Так, например, на Красноярской ГЭС с установленной мощностью 6000 МВт смонтировано 12 генераторов по 500 МВт с водяным охлаждением обмотки статора и форсированным охлаждением обмотки ротора. Такой генератор по мощности более чем в четыре раза превосходит генератор для Волжской ГЭС примерно при той же массе.

Основной задачей в области заготовительного производства является оптимальный выбор исходного материала, чаще всего листового проката, и его рациональный раскрой на требуемые заготовки с соблюдением при этом основного правила – получения максимально возможного процента годного металла с применением средств механизации и автоматизации производственных процессов и использованием современных высокопроизводительных машин для плазменной резки с числовым программным управлением. [1]

Конструкция современных гидрогенераторов содержит множество сварных элементов. В связи с этим на предприятии «Электросила» были внедрены и применяются по сей день такие современные, прогрессивные технологические процессы изготовления сварных конструкций как диффузионно-вакуумная сварка, сварка электронным лучом, сварка взрывом и сварка в специальной газовой смеси. Применение таких технологических процессов сокращает длительность производственного цикла и уменьшает экономические затраты.

Сборка генератора на месте установки – весьма трудоёмкий этап монтажных работ. Поскольку размеры и массы гидрогенераторов не позволяют транспортировать их в собранном виде до гидроэлектростанций, то основные работы по сборке всех крупных узлов и машин в целом осуществляются при монтаже гидрогенераторов и представляют собой, по существу, продолжение начатого на заводе производственно-технологического процесса.

Собранный статор переносят с монтажной площадки в кратер мостовыми кранами с помощью специального приспособления, полностью гарантирующего защиту статора от опасных деформаций при подъёме. Создание и ввод в эксплуатацию гидрогенератора – один из центральных этапов в сооружении гидроэлектростанции, строительство которой всегда является значительным событием в развитии целого экономического района страны.

Гидроэнергетика и вся энергетическая отрасль обеспечивают безопасность не только отдельных регионов, но и всей страны в целом. Работа в такой отрасли накладывает определённые

ные обязанности. Недобросовестное выполнение возложенных обязательств привело к трагедии на Саяно-Шушенской ГЭС, которая произошла 26 августа 2009 года и унесла жизнь 76 человек.

До аварии в здании ГЭС было размещено 10 гидроагрегатов единичной мощностью 640 МВт с радиально-осевыми турбинами, работающими при расчётном напоре 194 м, при максимальном расходе воды через турбину – 358 м³/с. Гидрогенераторы Саяно-Шушенской ГЭС вырабатывали ток напряжением 15,75 кВ.

Результаты многочисленных расследований и проверок следственного комитета и прокуратуры Российской Федерации показали, что главными причинами аварии на Саяно-Шушенской ГЭС стали халатное отношение персонала станции к своим трудовым обязанностям, недобросовестное выполнение своей трудовой функции, безразличное и равнодушное отношение отдельных работников станции к выполнению своих обязанностей. Главным техническим фактором трагедии на Саяно-Шушенской ГЭС стали во время незаменённые крепительные механизмы гидротурбин.

Равнодушным, безразличным специалистам нет места в основополагающих отраслях промышленности, какой по праву является энергетика, которая обеспечивает безопасное существование не только субъектов Российской Федерации, но и всей страны в целом.

К концу первого квартала 2014 года после проведения восстановительных работ мощность Саяно-Шушенской ГЭС составит 7100 МВт и данная станция вновь станет самой мощной не только в нашей стране, но и во всём мире.

Подводя итог, можно с уверенностью сказать, что гидрогенераторы являются типичными представителями машин мелкосерийного и единичного производства, так как по условиям водотока для каждой строящейся ГЭС требуется, как правило, новый тип агрегата. Поэтому номенклатура выпускаемых гидрогенераторов постоянно обновляется, что позволяет с учетом накапливаемого опыта и достижений в смежных областях технически совершенствовать конструкции гидрогенераторов быстрее, чем других крупных электрических машин. Также гидрогенераторы являются источниками весьма дешёвой энергии и являются незаменимыми механизмами, поддерживающими частоту единой энергосистемы страны на должном уровне.

Все это вместе взятое делает гидрогенераторостроение в известной мере престижной отраслью крупного электромашиностроения, об уровне которого в целом судят по колоссальным достижениям в области производства гидрогенераторов.

Библиографический список

1. Антонов, М. В. Технология производства электрических машин. Учебное пособие для вузов. / М. В. Антонов; Л.С. Герасимова. М.: Энергоиздат, 1988. 512 с.
2. Прутковский, С. А. Технология крупного машиностроения: Гидрогенераторы / С. А. Прутковский. М.: Энергоиздат, 1990. 320 с.