

## РЕЖИМЫ И ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИЙ СИНХРОННЫХ ГИДРОГЕНЕРАТОРОВ – ДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ ГАЭС

*Шевченко В.В., к.т.н., доц., Пикалов А.А.*

*Украинская инженерно-педагогическая академия*

*ул. Университетская, 16, 61003, г. Харьков, Украина*

*E-mail: zurbagan@mail.ru*

Проведен анализ режимов работы генераторов-двигателей гидроаккумулирующих электростанций, обоснованы требования к их конструкции с позиции пусковых режимов, сделаны выводы относительно перспективных режимов пуска.

**Ключевые слова:** генератор-двигатель, пусковой режим, преобразователь частоты, надежность.

**Введение.** В современных энергосистемах особую роль выполняют гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС). Эти электростанции имеют обычно два бассейна – верхний и нижний, – с определенными перепадами высот между ними. В здании ГАЭС устанавливаются так называемые обратимые гидроагрегаты – генератор-двигатель (ГД). В часы минимума нагрузки энергосистемы гидрогенераторы ГАЭС переводят в двигательный режим, а турбины – в насосный для создания запаса потенциальной энергии в виде накапливаемой в верхнем бассейне воды. Синхронная машина гидроагрегата может работать в режимах генератора, двигателя и синхронного компенсатора (СК). В режиме синхронного компенсатора ГД должен выдавать или потреблять реактивную мощность, работая при отжатой воде из камеры рабочего колеса насос - турбины в турбинном и насосном направлениях вращения. В двигательном режиме, потребляя мощность из сети, такие гидроагрегаты перекачивают воду по трубопроводу из нижнего бассейна в верхний. В период максимальных нагрузок, когда в энергосистеме образуется дефицит генераторной мощности, синхронная машина ГАЭС возвращается в генераторный режим и вырабатывает электроэнергию. Падающая вода из верхнего бассейна вращает турбину, которая, в свою очередь, вращает генератор, который выдает мощность в сеть.

**Анализ предыдущих исследований.** Мировой опыт эксплуатации ГД на ГАЭС в Японии и Европе показал, что рядом мелких усовершенствований в гидравлической части можно увеличить КПД ГАЭС до 73 – 75 %. Дальнейшим радикальным инструментом повышения эффективности ГАЭС является переход на применение генераторов-двигателей с переменной частотой вращения, т.е. асинхронизированный гидрогенератор.

Анализ прогнозных параметров развития электроэнергетики Украины, заложенных в Энергетической стратегии (ЭС), показывает, что переменная часть графиков нагрузок вырастет к 2020 г. по сравнению с 2002 г. на 35 % и что доля базисных станций в структуре генерирующих мощностей также возрастет. В настоящее время основой электроэнергетики остаются тепловые электростанции. При этом ситуация в ЭС еще более обостряется вследствие влияния следующих факторов:

– значительное увеличение доли ТЭС и АЭС с крупноблочным маломаневренным оборудованием в структуре генерирующих мощностей;

– практически исчерпаны возможности для строительства ГАЭС;

– снижение регулировочного диапазона энергоблоков ТЭС в связи со старением оборудования и снижением качества поставляемого топлива;

– перевод в экологический режим работы ряда крупных ГАЭС со снижением их регулировочного диапазона.

Кроме того, анализ крупных системных аварий показывает, что отсутствие необходимого оперативного и аварийного резерва в виде маневренных генерирующих мощностей, во-первых, способствует переходу локальной аварии в системную и, во-вторых, ограничивает оперативные возможности в послеварийном восстановлении нормального режима. Применение ГАЭС помогает выравнивать график нагрузки энергосистемы, что повышает экономичность работы тепловых и атомных электростанций. Требования оптимизации работы ТЭС, минимизации широтных межсистемных перетоков мощности приводят к необходимости увеличения доли высокоманевренных генерирующих мощностей. Основной причиной ускоренного износа теплового оборудования на ТЭС при его частых и кратковременных остановках является неравномерное температурное состояние различных элементов турбины, котла и паропроводов, что приводит к их остыванию с разной скоростью. Также, по зарубежным данным, 25 % аварийных остановок теплового оборудования происходит из-за повреждений в период пуска, а последствия температурных перенапряжений из-за неравномерной работы этого оборудования проявляются и во время стационарных режимов.

Решение проблемы может быть найдено за счет строительства ГАЭС, обладающих максимальными маневренными возможностями. Причем, в отличие от других маневренных электростанций, которые могут покрывать только пиковые нагрузки, ГАЭС могут работать в насосном (нагрузочном) режиме в провале графика нагрузок, обеспечивая более благоприятный базисный режим ТЭС и АЭС, а также способствуя снижению межсистемных перетоков мощности. Дополнительно к основным функциям –

балансированию мощности – ГАЭС по своим технологическим возможностям может привлекаться к регулированию важнейших режимных параметров – частоты и напряжения.

Опыт эксплуатации отечественных и зарубежных энергосистем показывает, что ГАЭС целесообразно размещать либо в центрах энергопотребления в промышленных и энергетически нагруженных районах страны, либо рядом с неманевренными мощными источниками электроэнергии. Но этим области их использования не ограничиваются. В зависимости от варианта размещения ГАЭС могут быть реализованы определенные специфические преимущества, особенно в аварийных и послеаварийных ситуациях.

1) Как правило, ГАЭС участвует в регулировании режимов энергообъединения в целом, обеспечивая требуемые значения частоты и напряжения; при этом она мало влияет на конкретные локальные объекты.

2) Следует отметить использование ГАЭС в случае их размещения вблизи АЭС или крупный ТЭС. Сохраняя стандартные функции, ГАЭС в этом случае может оказывать более глубокое влияние на оптимизацию режимов работы теплоэнергетического оборудования конкретной ТЭС или АЭС. При условии выполнения электрической связи ГАЭС не только с высоковольтными распределительными устройствами (РУ) АЭС, но и при обеспечении электрической связи с цепью низкого (генераторного) напряжения, принципиально возможно организовать автоматическое включение обратимых гидроагрегатов ГАЭС в насосном (нагрузочном) режиме в случае аварийной потери связи АЭС с энергосистемой, что целесообразно как с точки зрения сохранения электрооборудования, но и с точки зрения повышения радиационной безопасности.

3) В мировой практике есть случаи использования ГАЭС для повышения надежности электроснабжения крупных городов. Эта проблема решается радикально путем размещения нескольких ГАЭС сравнительно небольшой мощности по периметру и в непосредственной близости от города (или даже в черте города). Такие ГАЭС должны иметь связи с высоковольтными линиями электропередачи (ЛЭП) с основными распределительными подстанциями города и с РУ крупных ТЭС. Более того, эти ГАЭС территориально могут располагаться вблизи от существующих ТЭС, расположенных в черте городов. Такое расположение ГАЭС позволяет:

- осуществлять в нормальном режиме работы стандартный набор регулирующих функций энергосистемы;

- в аварийной ситуации, благодаря глубокому вводу ГАЭС в структуру электроснабжения города, осуществлять адресное аварийное резервирование генерирующей мощности;

- принимать на себя нагрузку неожиданно (аварийно) остановленных ТЭС;

- обеспечивать электроснабжение системы собственных нужд ТЭС, потерявших связь с энергосис-

темой и разгрузившихся до нуля, что необходимо для последующего пуска их турбоагрегатов.

4) В качестве верхних бассейнов такие ГАЭС могли бы использовать акваторию реки, протекающей в черте города или вблизи него, либо другой естественный водоем достаточной емкости. Такая компоновка не повлияет на наземные экосистемы города и не потребует отведения больших площадей. Для достижения максимума КПД агрегатов на ГАЭС устанавливают оптимизатор открытия направляющего аппарата в насосном и турбинном режимах в зависимости от значений напоров, расхода и мощности обратимого агрегата.

5) Участие ГАЭС в сезонном регулировании возможно при использовании излишней электроэнергии ГЭС в весенний период и накоплении паводковых вод в аккумулирующем бассейне достаточно большой емкости. Этот вариант принципиально возможен в бассейне рек, что, помимо накопления потенциальной энергии, позволило бы сгладить последствия паводковых процессов и обеспечить запас воды в целях ирригации в засушливый сезон;

6) Использование ГАЭС в изолированных энергосистемах, не располагающих гидроресурсами или мобильными мощностями других типов.

Например, опыт изолированного энергообъединения Японии, в структуре которого при суммарной установленной мощности 227 млн. кВт находятся ГАЭС суммарной мощностью более 20 млн. кВт (9,4 %), показывает, что многоцелевое использование ГАЭС в широких масштабах сняло проблемы регулирования режимов, обеспечения надежности и качества электроснабжения. Более того, при избыточной, казалось бы, установленной мощности ГАЭС (49 % по отношению к суммарной установленной мощности АЭС), в Японии планируется строительство новых подземных ГАЭС, для которых в качестве верхнего бассейна используют море. При этом экономическая целесообразность строительства и использования ГАЭС в Японии находится на втором плане по сравнению с технической необходимостью повышения устойчивости, надежности и безопасности работы АЭС. Последнее стало еще более актуальным в свете последних событий на АЭС Японии.

**Цель работы.** Обосновать перспективные конструкции синхронных гидрогенераторов – двигателей для ГАЭС с позиции особенностей режимов их работы.

**Материал и результаты исследований.** Среди всех типов электрических машин (ЭМ) гидрогенераторы занимают особое место. Это связано с тем, что, являясь одними из наиболее мощных ЭМ, они в то же время характеризуются весьма низкими номинальными частотами вращения и потому превосходят все другие электрические машины по значениям вращающихся моментов, по своим радиальным размерам и габаритам, массам вращающихся частей, динамическим моментам инерции, нагрузкам на подшипники, расходам охлаждающего агента.

Одним из главных факторов, определяющих конструкцию гидрогенератора, является положение

оси его вала. По этому признаку все гидрогенераторы разделены на две группы: вертикальные и горизонтальные.

В основном гидрогенераторы выполняются с вертикальным валом, что обусловлено спецификой привода – гидравлической турбины, нерентабельностью, 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. Сборка, эксплуатация и ремонт крупных вертикальных машин осуществляются значительно легче, чем горизонтальных. Однако вертикальное положение вала приводит к появлению в конструкции гидрогенератора новых опорных элементов – подпятника и во многих случаях опорной крестовины, которые должны быть рассчитаны на восприятие усилий от массы вращающихся частей генератора и турбины, а также от действия воды на ее рабочее колесо.

Горизонтальное исполнение до недавнего времени применялось в основном для быстроходных гидрогенераторов, соединяемых, как правило, с одной или двумя (по обе стороны агрегата) ковшевыми турбинами. Горизонтальные гидрогенераторы при достаточно высоких частотах вращения оказываются более компактными и легкими по сравнению с вертикальными. К горизонтальному расположению вала прибегали также при создании небольших прямоходных и приплотинных установок, не получивших сколько-нибудь существенного распространения и не имеющих большого энергетического значения. Вместе с тем развитие работ по прямоходным машинам привело к созданию капсульного гидроагрегата, состоящего из капсульного гидрогенератора и поворотной-лопастной турбины, совмещенных в одном корпусе и расположенных под водой.

Такие агрегаты нашли широкое применение для низконапорных русловых, а также приливных ГЭС. Они характеризуются относительно небольшими частотами вращения и искусственно уменьшенными у генераторов радиальными размерами, что достигается использованием более эффективных, принудительных систем охлаждения. Единичная мощность капсульных гидроагрегатов не превышает 50 МВт, однако при необходимости она может быть значительно повышена.

В качестве другого классификационного признака для гидрогенераторов, наряду с положением оси вращения, используется их функциональная роль в энергосистеме. В этом плане все гидрогенераторы делятся на две группы: генераторы обычного исполнения, предназначенные в основном для выработки в сеть электрической энергии, и обратимые машины, в различное время работающие в генераторном или двигательном (насосном) режиме.

Обратимые гидроагрегаты в зависимости от того, совмещают или нет входящие в них единицы оборудования различные функции, могут быть четырехмашинными, трехмашинными и двухмашинными. Двухмашинные, как наиболее компактные, дешевые

и простые в обслуживании, обычно предпочтительнее и, с освоением обратимых машин, нашли самое широкое применение.

Кроме того, в настоящее время в энергосистеме используется автоматическое регулирование частоты (АРЧ). В основном оно используется при пониженной нагрузке - ночью и в выходные дни, - путем повышения выходной мощности генераторов на ТЭС с минимального уровня до стандартного уровня АРЧ. Однако с возрастанием роли атомной энергии возрастает и число генераторов, сопряженных с паровыми турбинами, и возрастает мощность АРЧ, требуемая для электроэнергетической системы. Внедрение управления АРЧ на ГАЭС в насосном режиме в ночные часы и выходные дни позволит достигнуть экономичного управления расходом топлива генераторов ТЭС и уменьшения мощности АРЧ. Для реализации управления методом АРЧ на ГАЭС при работе в насосном режиме, так же как и для повышения КПД турбины при ее работе с генератором и одновременно стабилизации энергосистемы, необходимы новые принципиальные схемы генераторов для ГАЭС с переменной частотой вращения.

Имеется два типа принципиальных схем генераторов для ГАЭС с переменной частотой вращения:

1) с регулятором частоты, в которой тиристорный преобразователь между энергосистемой и генератором-двигателем установлен со стороны статора генератора-двигателя, [1];

2) с возбуждением от преобразователя, в которой тиристор установлен на стороне ротора ГД.

При использовании принципиальной схемы генераторов для ГАЭС с переменной частотой вращения первого типа необходимо наличие тиристорного преобразователя частоты (обычно состоящего из двух преобразователей, соединенных друг с другом звеном постоянного тока), имеющего ту же мощность, что и ГД. Оснащенные обратимыми гидроагрегатами, ГАЭС служат для покрытия пиков нагрузки энергосистем либо переводятся в режим потребления активной мощности, выравнивая общий график нагрузки системы и перекачивая при этом воду из нижнего бассейна в верхний.

В состав ГД и его вспомогательных систем входит: статор (включая фундаментные закладные части); ротор (втулки, спицы, обод ротора, полюса, надставки вала, токоподвод); направляющий подшипник с устройствами смазки и охлаждения; верхняя крестовина; упорный подшипник (подпятник) на жесткой опоре с устройствами смазки и охлаждения; система торможения и подъема ротора, включающая тормоза-домкраты, щит торможения, насос высокого давления и трубопроводы; верхнее перекрытие и его соединительные и сборочные элементы; нижнее перекрытие и его соединительные и сборочные элементы; система вентиляции и охлаждения ГД, включая водо-воздушные охладители (воздухоохладители); система подогрева воздуха на остановленном ГД; система освещения ГД; главные и нулевые выводы статора, шинопровод возбуждения; щеточно-контактный аппарат для подвода тока

в обмотку ротора; подставка для установки траверсы, для закрытия верхнего конца надставки вала и щеточно-контактного аппарата; индивидуальная система защиты от пожара в ГД; болтовые и втулочные элементы соединения верхнего фланца втулки ротора с фланцем надставки вала; трубопроводы системы водяного охлаждения воздухоохлаждателей и маслоохладителей направляющего подшипника и подпятника в пределах объема поставки ГД; современные датчики системы контроля и мониторинга, сборочные шкафы, а также проводка от датчиков до клеммников, ведущих мировых производителей в пределах поставки ГД; статическая тиристорная система независимого возбуждения.

Исполнение ГД обычно вертикальное, зонтичное с одним направляющим подшипником, размещенным в масляной ванне верхней крестовины, с подпятником, опирающимся на крышку насос - турбины. Конструктивное исполнение выполняется с учетом требований транспортирования, сборки, разборки, обслуживания и ремонта. Наиболее перспективна, согласно анализу литературных источников, косвенная система охлаждения ГД, с воздушным охлаждением обмоток статора и ротора и замкнутым циклом самовентиляции с охлаждением воздуха в воздухоохлаждателях, остановленных на наружной поверхности корпуса статора (ICW37A71). Широко используется система отбора из ГД горячего воздуха для обогрева машинного зала. Например, на Южноукраинской АЭС, объем возможного отбора

горячего воздуха равен 20 м<sup>3</sup>/с. ГД должен допускать продолжительную работу с номинальной мощностью при отключении двух воздухоохлаждателей или (10 - 15) % трубок воздухоохлаждателей.

Надежность ГД в условиях и режимах эксплуатации должна характеризоваться перечисленными ниже показателями (приведены данные для генератора на Ташлыкской ГАЭС):

- 1) коэффициент готовности, о.е., не менее 0,996;
- 2) интервал между отказами (наработка на отказ) 27000 часов;
- 3) срок службы ГД при соблюдении сроков и объемов плановых осмотров и ремонтов, не менее 40 лет;
- 4) интервал между капремонтами определяется показателями системы мониторинга, но не менее 7 лет.

В настоящее время идет анализ возможности повышения эффективности ГАЭС за счет перехода на применение ГД с переменной частотой вращения, т.е. асинхронизированных гидрогенераторов - двигателей.

Оценка состояния системы возбуждения и система мониторинга изоляции обмотки статора методом контроля частичных разрядов гидрогенератора-двигателя выполняются по отдельным техническим заданиям. Основные данные по активной, полной мощности и коэффициенту мощности ГД для номинального и максимально допустимого режимов эксплуатации приведены в табл. 1.

**Таблица 1 – Основные данные по активной, полной мощности и коэффициенту мощности ГД для номинального и максимально допустимого режимов эксплуатации**

Наименование параметра	Значение параметра			
	Генераторные режимы		Двигательные режимы	
	Номинальный	Максимально допустимый	Номинальный	Максимально допустимый
Активная мощность на зажимах ГД, МВт	324,0	385,0	421,0	425,7
Активная мощность на валу ГД, МВт	330,0	391,0	416,0	421,0
Полная мощность, выдаваемая в сеть в режиме генератора или потребляемая из сети в режиме двигателя (на зажимах ГД), МВА	360,0	418,5	430,0	430,0
Коэффициент мощности (перевозбуждение)	0,90	0,920	0,979	0,99

Остальные параметры для номинальных режимов ГД в генераторном и двигательном режимах представлены в табл. 2.

Основными требованиями, оказавшими решающее влияние на конструкцию ГД, при обеспечении прямого асинхронного пуска машины в двигательный режим от полного напряжения сети, следующие:

1) Ограничение кратности пускового тока, которая не должна была превышать 2,5, о.е.

2) ГД должен быть рассчитан на увеличенное число ежедневных пусков и переводов из одного режима в другой (режимы генератора, двигателя, синхронного компенсатора).

Для обеспечения полного соответствия требованиям, в конструкции данных ГД должна содержать следующие основные технические решения:

– необходимо использовать бесстыковой сердечник статора, предусматривающий шихтовку на монтажной площадке ГАЭС с механической растяжкой сердечника для обеспечения предварительного натяга и исключения тепловых деформаций при работе,

– следует использовать реверсивный подпятник с нулевым эксцентриситетом.

– для обеспечения необходимого асинхронного момента при пуске следует применять массивные кованые сердечники полюсов ротора, а также мощные медные межполюсные демпферные соединения;

– для снижения кратности пускового тока следует применять магнитные шунты в пазах статора, использовать обмотку статора петлевого типа с увеличенным числом пазов,

Таблица 2 – Параметры для номинальных режимов ГД в генераторном и двигательном режимах

Наименование параметров	Значение параметра	
	генератор. режим	двигательный режим
Номинальное напряжение, В	15750	15750
Частота тока, Гц	50	50
Номинальный ток статора, А	13200	15765
Частота вращения номинальная, мин <sup>-1</sup>	150	150
разгонная (без учета повышения давления напора)	210	210
максимальная угонная частота вращения при сбросах нагрузки	240	240
Маховый момент ротора ГД (требуемый), т*м <sup>2</sup>	60000	
Направление вращения, если смотреть сверху	по часовой стрелке (левое по ГОСТ 26772-85)	против часовой стрелки (правое по ГОСТ 26772-85)
Диаметр шахты насос – турбины (ГД), м	11,5	
Осевая нагрузка на подпятник от массы вращающихся частей насос - турбины и реакции воды, тс,	300	2300
Отношение короткого замыкания (ОКЗ), не менее	0,9	
КПД при номинальной нагрузке и при номинальном коэффициенте мощности, %	98,6	98,8
Индуктивное синхронное сопротивление по продольной оси ( $X_d$ ), не более, о.е.:	0,954	1,14
-синхронное сопротивление по поперечной оси ( $X_q$ ), не более	0,65	0,777
- переходное по продольной оси ( $X'd$ ), не более	0,301	0,359
- сверхпереходное по продольной оси ( $X''d$ ), не менее	0,144	0,172
Число выводов обмотки статора	6	
Схема соединения фаз	звезда	
Ток ротора номинальный (расчетное значение), А	1900	1850
Напряжение возбуждения номинальное при температуре обмотки 130°C (расчетное значение), В	386	376
Ток ротора холостого хода, А	1170	
Напряжение ротора холостого хода, В	203	

– необходимо предусмотреть усиленное крепление обмотки статора в лобовой и пазовой частях с термообработкой после укладки обмотки.

Необходимо применять также другие конструктивные решения, направленные на обеспечение надежной работы машин для тяжелых условий эксплуатации. В остальном необходимо сохранять стандартную конструкцию узлов, хорошо зарекомендовавшую себя для ГД на ГАЭС, т.е.:

– следует использовать зонтичное исполнение ГД с опорой подпятника на крышку гидромашины.

– необходимо располагать направляющий подшипник в центральной части верхней крестовины;

– бесстыковой статор должен опираться на фундаментные плиты;

– необходимо выбрать ротор «безвального» исполнения, с втулкой ротора, выполняющей одновременно роль втулки подпятника. Сверху к втулке ротора присоединять вал-надставку с втулкой направляющего подшипника.;

– предлагается к втулке ротора присоединять двоянные спицы остова ротора, на которые собирается обод ротора с горячей расклиновкой. Полюса с Т-образными хвостовиками следует крепить к ободу ротора;

– тормоза - домкраты необходимо располагать под ободом ротора и они должны опираться на специальные мостовые конструкции, размещенные в

тангенциальном направлении в верхней части шахты насос – турбины.

В то же время, опыт работы ГАЭС показывает, что применение асинхронного пуска для таких агрегатов является нецелесообразным, поскольку он сопровождается повышенными нагрузками на сопрягаемое оборудование (выключатели, трансформаторы и т.д.) и определенной посадкой напряжения в энергосистеме. Поэтому, основным методом пуска в насосный режим для ГАЭС, принимают частотный пуск от специального статического тиристорного преобразователя частоты.

Особенности конструкций синхронный мотор – генераторов при частотном пуске следующие:

– вместо массивных сердечников полюсов применить шихтованные сердечники из стальных листов.

– в башмаках полюсов следует установить медные стержни демпферной обмотки, замкнутые по торцам медными сегментами, что упростит конструкцию демпферных соединений.

– целесообразно выбрать уменьшенное число пазов статора, убрать магнитные шунты;

– сохранить особенности конструкции, обеспечивающие надежность работы ГД, как бесстыковой сердечник статора с механической растяжкой, реверсивный подпятник с нулевым эксцентриситетом и др.

– конструкции ГД следует предусмотреть реверсивные подпятники оригинальной конструкции, с нулевым эксцентриситетом, без принудительной подачи масла под высоким давлением в зону трения при пусках и остановках.

Учитывая, требование по обеспечению работы ГД в режимах с потреблением реактивной мощности, в геометрию активных частей следовало бы внести некоторые изменения.

В режимах потребления реактивной мощности СМ имеются ограничения, связанные с нагревом крайних пакетов сердечника статора и с обеспечением устойчивости работы машины в энергосистеме. Обычно применяемая для крупных гидрогенераторов конструкция полюса с козырьками полюсных щек, выступающими за пределы сердечника статора, имеет большую интенсивность аксиального магнитного поля в торцевой зоне. В ГД ГАЭС следует применять вариант укороченного полюса (щечи полюса выполнены заподлицо с пакетами сердечника статора за счет уменьшения длины сердечника полюса), который дает меньшую интенсивность аксиального магнитного поля в торцевой зоне. Анализ кривых распределения индукции вдоль крайнего пакета статора показывает, что величина индукции магнитного поля в зоне крайнего пакета статора при укороченной конструкции полюса уменьшается примерно в 1,5-2 раза. Соответственно потери в крайних пакетах сердечника статора будут меньше ориентировочно в 2-4 раза. Применение конструкции укороченного полюса позволит обеспечить режимы работы Г-Д с потреблением реактивной мощ-

ности в соответствии с нормативными требованиями. Конструкция укороченного полюса обеспечивает расширение диапазона нагрузок ГД в режиме недо возбуждения на том же уровне, что и применяемая рядом изготовителей конструкция комбинированных полюсных щек с титановыми козырьками.

**Вывод.** Применение асинхронного пуска для ГД является нецелесообразным, поскольку он сопровождается повышенными нагрузками на сопрягаемое оборудование (выключатели, трансформаторы и т.д.) и определенной посадкой напряжения в энергосистеме. Поэтому основным методом пуска в насосный режим принят частотный пуск мотор - генератора от специального статического тиристорного преобразователя частоты.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьмин В.В., Черемисов Я.Я., Грубой А.П. и др. Реабилитация гидрогенераторов днепровского каскада ГЭС, //Новини енергетики. – 2002. –№ 5.
2. Шевченко В.В. Проблемы и основные направления развития электроэнергетики в Украине // Енергетика та електрифікація – 2007 № 7(287).
3. Генераторы-двигатели для ГАЭС. Справочник по электрическим машинам, том 1. – М.: Атомэнерг, 2002.

Стаття надійшла 15.02.2011 р.  
Рекомендовано до друку к.т.н., доц.  
Прусом В.В.

## РЕЖИМИ Й ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЙ СИНХРОННИХ ГІДРОГЕНЕРАТОРІВ – ДВИГУНІВ ДЛЯ ГАЕС

*Шевченко В.В., к.т.н., доц., Пікалов А.А.  
Українська інженерно-педагогічна академія  
вул. Університетська, 16, 61003, м. Харків, Україна  
E-mail: zurbagan @mail.ru*

Проведено аналіз режимів роботи генераторів-двигунів гідроаккумуляуючих електростанцій, обґрунтовані вимоги щодо їхньої конструкції з позиції пускових режимів, зроблено висновки стосовно перспективних режимів пуску.

**Ключові слова:** генератор-двигун, пусковий режим, перетворювач частоти, надійність.

## MODES AND DESIGN FEATURES OF SYNCHRONOUS MOTOR-HYDROGENERATORS FOR THE STORAGE PLANT

*Shevchenko V., Cand. of Sc. (Tech.), Assoc. Prof., Pikalov A.  
Ukrainian engineering pedagogics academy  
16, Universitetska vul., 61003, Kharkiv, Ukraine  
E-mail: zurbagan \_ mail.ru*

The analysis of operation modes of motor-generators of storage plant is carried out, requirements to their design from a position of starting modes are proved, conclusions concerning perspective starting modes are drawn.

**Key words:** motor-generator, starting mode, frequency converter, reliability.