

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ НА ПОСТОЯННЫХ МАГНИТАХ
НА ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ

Mamadjanov Baxodir Djuraxanovich

texnika fanlari nomzodi, Andijon mashinasozlik instituti “Elektrotexnika, elektromexanika va elektrotexnologiyalar” kafedrası professorı

Elektron pochta: bm02717272@gmail.com,

Mannobboyev Shuxratbek Soyibjon o‘g‘li

Andijon mashinasozlik instituti “Elektrotexnika, elektromexanika va elektrotexnologiyalar” kafedrası katta o‘qıtuvchısı

E-mail: shuxratbekmannobboyev@gmail.com,

Annotatsiya: GESning energiya samaradorligini oshirishning asosiy yo‘nalishi gidroelektrostantsiyaning yordamchi tizimida o‘zgaruvchan tokning doimiy magnitlarida elektr motorlarining yanada ishonchli konstruktsiyalaridan foydalanish hisoblanadi. Maqolada asinxron generatorlar o‘rniga doimiy magnitli zamonaviy turdagi elektr motorlaridan foydalanish taklif etilmoqda, bu esa stansiyaning o‘z ehtiyojlari uchun elektr energiyasi sarfini kamaytiradi.

Kalit so'zlar: GES, elektr motorlar, gidravlika, nasoslar, elektr yurituvchi kuch, yordamchi uskunalar.

Аннотация: Основным направлением для поддержания и обеспечения энергетической эффективности гидроэлектростанции является применение более надежных конструкций электродвигателей на постоянных магнитах переменного тока в системе собственных нужд гидроэлектростанции. В работе предлагается применять современные типы электродвигателей на постоянных магнитах вместо распространенных асинхронных, что позволит снизить расход электрической энергии на собственные нужды станции.

Ключевые слова: гидроэлектростанция, электродвигатели, гидроагрегат, насосы, электропривод, вспомогательное оборудование.

Annotation: The main direction for maintaining and ensuring the energy efficiency of a hydroelectric power station is the use of more reliable designs of electric motors on permanent magnets of alternating current in the system of auxiliary needs of a hydroelectric power station. The work proposes to use modern types of electric motors on permanent magnets instead of widespread asynchronous ones, which will reduce the consumption of electric energy for the auxiliary needs of the station.

Key words: hydroelectric power station, electric motors, hydraulic unit, pumps, electric drive, auxiliary equipment.

Актуальность оптимизации режимов работы электродвигателей обусловлена опасностью нарушения нормальной эксплуатации оборудования и сооружений гидроэлектростанций при выходе из строя источника питания потребителей собственных нужд (СН) и высокими тарифами на электрическую энергию СН. Основная задача заключается в применении в системе СН гидроэлектростанции (ГЭС) электродвигателей на постоянных магнитах для обеспечения эффективной и надёжной работы со снижением уровня отклонений принимаемой энергии от поставщика (генератора).

Постепенное развитие и усложнение системы электроснабжения СН станций способствует внедрению устройств управления распределением и потреблением электрической энергии на базе современной вычислительной техники. Схема электроснабжения СН ГЭС делится на схему агрегатных нужд и общестанционных нужд. В каждом направлении имеется вспомогательное оборудование, работа которого обеспечивается физически и морально устаревшими электродвигателями. В числе потребителей СН ГЭС имеются электродвигатели единичной мощностью в 250 кВт для насосных станций технического водоснабжения, системы осушения проточного тракта гидроагрегатов и водосбросов ГЭС, пожаротушения. Для компрессорных станций устанавливаются электродвигатели мощностью по 200 кВт.

В данной работе проанализированы особенности характеристик и конструкции синхронного электродвигателя на постоянных магнитах, намечены возможные пути совершенствования системы СН ГЭС для обеспечения наибольшей эффективности и надёжности в работе.

Электроприёмниками СН гидроагрегатов даже больших мощностей являются исключительно электродвигатели малой мощности в непосредственной близости к ним. В таком случае питание рассчитывается на напряжение 0,4 кВ. В качестве привода маслонапорной установки (МНУ) СН ГЭС используются асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором относительно небольшой мощности (110 кВт) и напряжением 380 В.

В качестве предполагаемых вариантов снижения затрат на электрическую энергию рассматриваются:

1. Замена приводов асинхронных электродвигателей на частотно-регулирующие приводы (ЧРП) с оптимизацией режимов работы группы потребителей СН;
2. Замена асинхронных электродвигателей на синхронные двигатели с постоянными магнитами (ДПМ) переменного тока с установкой ЧРП;
3. Комплексная замена всей группы насосов и электродвигателей системы технического водоснабжения на погружные насосные агрегаты двустороннего входа.

ЧРП являются современным подходом к компенсации потерь электрической энергии на СН станции. Внедрение в системе технического водоснабжения ЧРП принесло годовую экономию электроэнергии только на одной насосной более 250 Мвт*ч [1], что позволило в скором времени окупить внедрённую технологию.

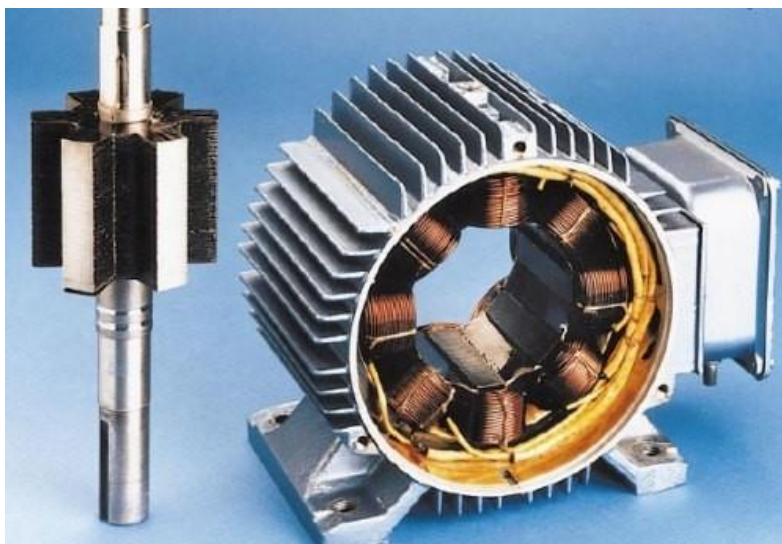


Рисунок 1. Конструкция электродвигателя с постоянными магнитами.

Конструктивно ЧРП состоит из преобразователя частоты (ПЧ) и электродвигателя. Преобразователь корректирует выходные параметры напряжения: амплитуда напряжения и частота, а также регулирует пусковые токи. ЧРП применяется в качестве электронного статического устройства. Основное назначение - регулирование скорости вращения двигателя изменением частоты питающего напряжения, подаваемого от ПЧ на электродвигатель.

Асинхронные электродвигатели при установке ЧРП в зависимости от режимов работы имеют ряд преимуществ (табл. 1).

Таблица 1

Достоинства ЧРП при установке на асинхронных электродвигателях

| Электродвигатели без ЧРП | Электродвигатели с ЧРП |
|--|--|
| Работа под нагрузкой (до максимальной скорости вращения) | |
| Возможность превышения номинальной скорости вращения с последующим уменьшением ресурса двигателя | Возможность стабильного плавного регулирования заданных скоростей вращения |
| Работа при переменной частоте питающего напряжения | |
| Увеличение потерь на перемагничивание при превышении расчетных номинальных значений | Возможность поддержания уровня проектных мощностей и надстройка под изменения режимов работы |
| Работа при пуске | |
| Регулирование пускового момента не обеспечено | Устанавливается высокий пусковой момент независимо от режима вращения двигателя |

Основными недостатками внедрения ЧРП являются:

1. Возникновение потерь по причине появления высших гармоник в случае питания электрической энергией напряжением несинусоидальной формы;

2. Повышение числа импульсов за счет значительного числа переключений;
3. Искрение в области подшипников, износ, дополнительный нагрев обмоток, шумы и вибрации за счет повышения напряжения между коммутирующими элементами.

Из анализа применения ЧРП в качестве привода электродвигателей оборудования СН можно сделать вывод, что регулятор в реальных условиях работы позволит обеспечить [2]:

1. Управление загрузкой насосов агрегатов в ручном режиме;
2. Управление в автоматическом режиме по сигналу с датчиком давления насосов;
3. Плавный пуск и останов электродвигателей насосов с соответствующим выравниванием ресурса;
4. Регулируемый уровень вносимых искажений частоты напряжения (компенсация искажений);
5. Изменение технологического режима;
6. Снижение финансовых затрат на техническое обслуживание;
7. Снижение затрат на потребление электрической энергии;
8. Графическое представление загрузки электродвигателей группы потребителей СН на панели.

Предлагается установка ЧРП на электродвигателях наиболее ответственных узлов СН:

1. Маслонасос МНУ и два насоса (рабочий и резервный) по одному на генератор;
2. Насосы технического водоснабжения (НТВ) для насосных станций ТВС;
3. Насосы откачки паттерны.

МНУ ГЭС обеспечены датчиками постоянного контроля параметров давления и уровня масла. Действующая система в случае достижения предельных величин параметров давления и уровня масла автоматически включает-отключает электродвигатели насосов. Установка ЧРП на электродвигатели насосов незначительно повысит надежность работы агрегата, но экономический эффект от его использования при этом очень низок. В связи с данной причиной установка частотного регулятора на электродвигатели маслонасосов не обеспечит значительного действия на работу узла.

В системе ТВС насосы включаются автоматически по сигналу уровня и давления воды. Установка ЧРП на электродвигателях НТВ позволит не только обеспечить срабатывание насосов при заданном значении давления, но и плавно регулировать мощность электропривода в зависимости от реального водопотребления. Откачка воды будет осуществляться постепенно в установленном интервале значений давления, что позволит также избежать возникновения гидравлического удара в системе.

НТВ предназначены для обеспечения смазки и охлаждения обрешиненного турбинного подшипника, охлаждения статора генератора, генераторного подшипника, подпятника, блочных трансформаторов, системы возбуждения при всех режимах работы, охлаждения компрессоров высокого и низкого давления, насосов, вентиляции, а также системы

пожаротушения генератора. Система ТВС обеспечивает подачу воды в систему пожаротушения объектов и помещений ГЭС.

Применение ЧРП для электродвигателей насосов откачки паттерны неэффективно по причине того, что сработка осуществляется только по данным датчиков максимального и минимального уровня затопления помещения. Установка регулятора не обеспечит своих главных преимуществ и значительно увеличит затраты на технического обслуживание привода электродвигателя.

В итоге анализа основным узлом для внедрения ЧРП является система НТВ с электродвигателями мощностью до 250 кВт каждый для насосных станций ТВС.

Актуальность оптимизации режимов работы насосов ТВС обусловлена высокими тарифами на электрическую энергии СН. Выгодным считается такой режим, который обеспечивает наименьшее суммарное потребление при заданном расходе воды в течение расчетного периода пусков электродвигателей.

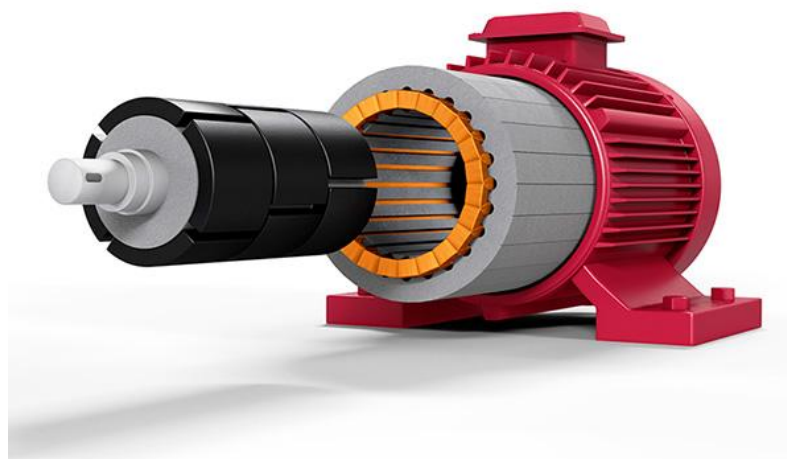
Допустимым режимом будем считать такой режим, при котором будет обеспечена равномерная нагрузка электродвигателей в зависимости от установленного интервала значений давления воды.

Рассмотрим самый затратный вариант модернизации старого парка оборудования СН - применение в системе СН ГЭС синхронных электродвигателей на постоянных магнитах для обеспечения эффективной и надёжной работы со снижением уровня отклонений принимаемой электрической энергии.

В непосредственной близости к насосным агрегатам в системе питания СН применяются исключительно электродвигатели малой мощности. В таком случае питание рассчитывается на напряжение 0,4 кВ. На ГЭС распространено в качестве привода МНУ и НТВ СН ГЭС использование асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором относительно небольшой мощности (110 кВт) и напряжением 380 В.

В последнее время наиболее перспективным становится применение синхронных электродвигателей на постоянных магнитах переменного тока. Альтернативный тип машины направлен на использование в приводах различной мощности с практически полным исключением дополнительных источников питания.

Рисунок 2. Общий вид электродвигателя с постоянными магнитами.



Выработка электрической энергии в ДПМ основана на применении магнитного поля ферромагнетиков. Постоянные магниты изготавливаются в основном из соединений металлов (неодим, бор, железо). Для улучшения магнитных свойств магниты выполняют «спечёнными». Электродвигатель состоит из неподвижного статора и вращающегося ротора с магнитами постоянного типа, размещёнными в радиальных пазах. Конструкция статора состоит из сердечника и обмотки. Цепь возбуждения представляется обыкновенными постоянными магнитами без установки токосъёмного узла ротора. Принцип работы основан на взаимодействии вращающегося магнитного поля обмотки статора с полем рабочего возбудителя в пазах ротора. Система обеспечивает электрическое переключение направления тока. При приближении статора к ротору на минимальное расстояние возникает переменное отталкивание и притяжение в магнитах. Угловое положение ротора определяется посредством фиксирования показателей магнитного поля при помощи датчиков. На основе закона электромагнитной индукции проводники генераторных катушек направляют ток в цепь потребителя. Запуск и торможение обеспечивает система статор-магниты. В комбинированной конструкции по катушкам электромагнитов пропускают постоянный ток. Возбуждение данным способом позволяет улучшить регулировочную характеристику напряжения и частоты вращения, а также снизить объёмы магнитной системы [3].

Данное оборудование имеет ряд преимуществ перед классическими электродвигателями. Основным достоинством является возможность получения оптимального режима работы при воздействии реактивной энергии путём автоматической регулировки тока. К преимуществам следует отнести: повышение надёжности за счёт применения постоянных магнитов; значительное уменьшение габаритных размеров и веса конструкции при сохранении мощности с повышением КПД; поддержание высокой перегрузочной способности; синхронная скорость вращения остаётся постоянной при различной нагрузке.

К недостаткам следует отнести: усложнение конструкции и повышение стоимости; отсутствует регулирование возбуждения. Двигатель на время пуска невозможно отключить. Возникает тормозной момент и образуется провал в пусковой характеристике двигателя. Опасность воздействий оценивается застреванием электродвигателя на малых скоростях вращения.

Выбор ДПМ в СН ГЭС обосновывается стандартными показателями, присущими конструкциям асинхронных и синхронных двигателей. Необходимо произвести выбор конструкции постоянного магнита, что позволит скомпенсировать размагничивающее действие реакции якоря. При двух парах полюсов используют тангенциальную или кольцевую конструкцию. При большем числе пар полюсов применяют радиальную конструкцию с полюсными наконечниками из магнитотвёрдого материала. Важно отметить выбор технологии магнитного охлаждения устройства.

Наиболее распространено применение асинхронных двигателей, что целесообразно в плане экономии на приводах механизмов. Ротор под действием нагрузки скользит относительно магнитного поля и отстаёт от него. Отставание увеличивается под действием трения элементов двигателя, что в итоге достигает 5 % из опыта эксплуатации в военной промышленности. При росте скольжения возрастают активные потери в роторе электродвигателя. Для компенсации эффекта скольжения предполагается использовать частотный преобразователь, который снижает показатель отставания частоты на 10 % от номинального значения.

Конструкция синхронного ДПМ переменного тока не снижает уровень надёжности распространённых асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором. Установка данного типа оборудования позволит снизить вероятность отказов и количество ремонтов,

а также повысит срок службы не только самого электродвигателя, но и обслуживаемого вспомогательного оборудования.

Для экспертной оценки производится расчет показателей надежности оборудования, на котором будет устанавливаться выбранный источник питания. На основании проведенного анализа ДПМ устанавливаются в системе ТВС.

Расчет показателей надежности насосных агрегатов производится по коэффициентам, учитывающим степень сохранения эффективности системы после отказа его составных частей, степень работоспособности и износа оборудования. В соответствии с данной оценочной методикой определяется перечень исходных событий отказов насосных агрегатов. По итогам оценки интенсивность отказа асинхронного электродвигателя на 16 % больше, чем при установке синхронного ДПМ. Сложность устройства ДПМ на насосах ТВС оправдывается снижением количества капитальных ремонтов электродвигателей на 20 % в год на основании статистики вывода в ремонт промышленных асинхронных электродвигателей, а также повышением срока службы за счет регулировочных особенностей.

Параметры номинального напряжения и мощности синхронного ДПМ аналогичны действующим конструкциям на станциях. На первом этапе внедрение нужно провести на приводах наиболее ответственных узлов - насосы НТВ.

При построении схем СН следует учитывать, что многие ГЭС работают в пиковой или полупиковой части графика системы с несколькими пусками и остановками в течение суток, когда коммутации, связанные с переходом с рабочих на пускорезервные трансформаторы СН и обратно, нежелательны [4].

Зависимость максимума собственного потребления от величины перетоков через автотрансформаторы связи является следствием возникновения значительных потерь. Существенный расход на систему возбуждения и потери вызывает включение шунтирующего реактора. Собственное потребление станции возрастает вследствие наличия в сети большой величины реактивной мощности. Возникает необходимость планомерной организации всего комплекса СН с учётом возможных потерь. Заменяемое оборудование должно быть более простым в управлении и обеспечить более высокую надёжность перетоков электрической энергии на нужды собственного потребления.

Работа в пиковом режиме значительно увеличивает собственное потребление станции. Таким образом, основной причиной превышения устанавливаемых нормативов является ярко выраженный пиковый график загрузки в период месяца [5].

Наиболее важным технико-экономическим показателем качества работы электродвигателя является надежность. Для определения наиболее подходящего типа конструкции электродвигателя проводится сравнительная характеристика. В табл. 2 приведены основные аспекты повышения надежности работы насосного оборудования при использовании конкретного типа электродвигателя.

Таблица 2

Сравнительная характеристика надежности применения синхронного электродвигателя с постоянными магнитами

| | |
|---|---------------------------------------|
| № | Тип электродвигателя переменного тока |
|---|---------------------------------------|

| | Асинхронный с короткозамкнутым ротором переменного тока | | Синхронный с постоянными магнитами переменного тока | |
|---|---|---|--|--|
| | Причина | Последствие | Недостаток | Преимущество |
| 1 | Действие значительных динамических сил на ротор при пусках и переключениях частоты вращения | Повреждения обмотки ротора в виде трещин и обрывов стержней в месте их входа в короткозамыщные кольца | Обязательная установка частотного преобразователя (усложнение конструкции) | ЧП позволяет снизить частоту пусков и нагрузку на обмотку статора, что продлевает срок службы вспомогательного оборудования |
| 2 | Неравномерность зазора (задевание ротора о статор) | Недопустимый местный перегрев обмотки и возникновение витковых замыканий | - | Отсутствие скользящих электрических контактов Низкий перегрев и более медленный износ изоляции Векторная система управления положением ротора или установка датчика положения ротора |
| 3 | Капитальный ремонт около 20% ЭД в год | Возможность ошибки при ремонте и простоя оборудования | В случае разрушения или повреждения магнита ремонт ротора возможен только на заводе-изготовителе | Вероятность капитального ремонта меньше |
| 4 | - | - | Ограничение максимальной скорости вращения механической прочностью крепления магнита | Магнит располагается внутри ротора, что снижает вероятность отказа |
| 5 | Наличие обмотки возбуждения для поддержания магнитного потока ротора | - | - | Ток возбуждения не требуется, что обеспечивает максимальный крутящий момент на единицу объема |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 6 | - | - | - | Минимальное значение токов холостого хода и рабочих токов, что позволяет оптимизировать режим работы ЭД |
|---|---|---|---|---|

Перспектива использования ДПМ в составе привода вспомогательного оборудования ГЭС считается рациональной, но труднореализуемой с точки зрения требования значительных финансовых затрат.

Преимущества снижения потребления электрической энергии до 40 % предполагают повышение надёжности применения данного типа двигателя в системе СН на первоначальном этапе обновления состава оборудования станций.

Снижение затрат на электрическую энергию в системе СН в 2,1 раза позволит установить необходимый уровень потребления станции.

Стратегической задачей развития электроэнергетики Узбекистана на ближайшие годы связано с внедрением новых технологий в обеспечении безаварийной работы оборудования электрической части станций. Основными направлениями поддержания системы СН ГЭС является применение новых конструкций электродвигателей.

Возможность применения ДПМ в текущий период на ГЭС является перспективной на этапе обновления парка оборудования. Предполагаемый подход к внедрению ДПМ позволит обеспечить надёжность работы, улучшит регулировочную характеристику напряжения и частоты вращения за счёт преобразователей.

Список литературы

1. Лиходедов А.Д., Ткаченко В.А., Ткаченко А.В. Внедрение частотного регулирования в системах автоматизации теплоснабжения и водоснабжения // Труды Камчатского филиала Дальневосточного федерального университета / отв. ред. Л.А. Геготаулина. Вып. 13. Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс, 2014. С. 93-96.
2. Зайцев А.И., Лядов Ю.С. Регулируемый электропривод и его роль в энергосбережении // Журнал «Электротехнические комплексы и системы управления». (дата обращения: 10.04.2021).
3. Семёнов В.В., Сидоренко Н.С. Энергетическая установка на постоянных магнитах // Молодой учёный. 2017. №6. С. 86-88.
4. СТО 17330282.27.140.020-2008. Системы питания собственных нужд ГЭС. Условия создания. Нормы и требования, М., 2008.
5. Черновец А.К., Лапидус А.А. Режим работы электрооборудования станций и подстанций. Спб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2005.
6. Собственные нужды ПАО «РусГидро» [Электрон. ресурс] ГКГ: (дата обращения: 10.04.2021).