

**ЧУМАК В.В.**, канд. техн. наук,**МОНАХОВ Е.А.**, асистент,**ТИМОЩУК О.Л.**, канд. техн. наук,

Национальный Технический Университет Украины

"Киевский политехнический институт им. И. Сикорского", г. Киев

УПРАВЛЯЕМЫЙ МИКРОГИДРОГЕНЕРАТОР МОЩНОСТЬЮ 3 КВТ

В данной статье рассмотрен ряд магнитоэлектрических генераторов с аксиальным магнитным потоком мощностью 3 кВт, которые предназначены для микрогидроэлектростанции. Проведено технико-экономическое сравнение неуправляемого и управляемого магнитоэлектрического генератора и показана обоснованность применения управляемых микрогидрогенераторов.

К л ю ч е в ы е с л о в а: микроГЭС, магнитоэлектрический генератор, управляемость, экономичность.

Введение. На Украине насчитывается свыше 63 тыс. малых рек и водотоков общей протяженностью 135,8 тыс. км. Согласно исследованиям проведенным Харьковским ПАО "Укрэнергопроект", общий годовой потенциал всех малых рек составляет 336 млн. кВт-ч. Развитие малой гидроэнергетики способствует децентрализации общей энергетической системы и снимет ряд проблем в энергоснабжении отдаленных и труднодоступных сельских регионов [1–3]. Генератор является одним из важнейших узлов автономной энергоустановки. Помимо первичной функции, которая заключается в генерировании электрической энергии, генератор также выполняет определенные функции по стабилизации или регулирования параметров, которые характеризуют ее качество. Одним из требований, которые предъявлены к генераторам автономных энергоустановок является управляемость.

Наибольшее распространение в автономных источниках электропитания имеют синхронные машины. Традиционно в качестве силовых генераторов применяют цилиндрические машины, однако в работе предлагается рассмотреть магнитоэлектрический генератор с аксиальным магнитным потоком, так как последние имеют ряд преимуществ по сравнению с классическими цилиндрическими машинами, а именно: более высокий удельный показатель мощности на единицу объема в определенном диапазоне [4, 5]; возможность модульной сборки для обеспечения необходимого момента и мощности [5]; возможность разгрузки подшипников за счет конструктивных решений в вертикальном исполнении [5].

Так как одним из важных требований к автономным системам генерирования электрической энергии является управляемость [6], то методы построения управляемых систем являются актуальным вопросом.

Методы построения систем стабилизации частоты генерируемого напряжения автономных электроустановок можно разделить на две группы:

1. Стабилизация частоты вращения приводного двигателя.

2. Генерирование переменного тока стабильной частоты при изменяющейся скорости привода.

Основные варианты построения стабилизирующих систем описаны в работах [2]: регулирование частоты вращения турбины за счет изменения угла поворота рабочих лопастей или регулирования расхода воды, схема регулирования с помощью автобалластной нагрузки, схемы с использованием привода постоянной скорости, использование машино-вентильных источников питания, использование полупроводниковых преобразователей энергии, использование регулируемых конструкций генераторов.

Наиболее распространенными вариантами методов построения систем является схема с автобалластной нагрузкой и с использованием полупроводникового преобразователя. Вне зависимости от метода построения схемы стабилизации выходных параметров генератора необходимо регулировать скорость подачи воды, хотя бы с низкой точностью. К примеру, при работе на сетевой инвертор, необходимо поддерживать минимальную скорость вращения для обеспечения минимального пускового напряжения для инвертора и в случае превышения скорости необходимо уменьшить ее либо остановить турбину.

Минимальная стоимость автономного инвертора китайского производства составляет около \$500. КПД такого инвертора составляет 80%. При применении такого инвертора общий КПД системы составит порядка 68% (85% у генератора). При этом необходимо регулировать напор воды, так как у инвертора есть ограничение по стартовому уровню напряжения. Устройство автобалластной системы регулирования является наиболее дешевым, так как представляет собой добавочное сопротивление и систему перераспределения мощности (тиристорная либо транзисторная), однако при этом мощность балластной нагрузки равна мощности полезной нагрузки, что уменьшает общую эффективность использования энергии.

Объектом исследования является управляемый магнитоэлектрический генератор с аксиальным магнитным потоком мощностью 3,3 кВт [7,

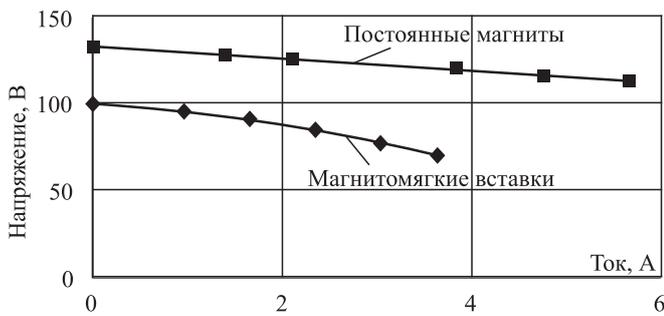


Рис. 1. Сравнение внешних характеристик неуправляемого и управляемого генератора

8]. При этом данный генератор обеспечивает регулирование как напряжения (глубина регулирования 30%), так и скорости (глубина регулирования –20%). Был проведен аналитический расчет по методике [9] и последующее полевое моделирование на базе [10]. По результатам моделирования были получены внешние характеристики генератора традиционной и управляемой конструкции, которые представлены на Рис. 1. Все расчеты производились при чисто активной нагрузке.

Применение магнитомягких сердечников приводит к уменьшению мощности машины на 45% при сохранении полюсности машины и реализации системы управления. Одновременно с этим уменьшилась необходимая мощность приводного двигателя (на 23%). Коэффициент полезного действия генератора снизился с 90% до 75%. У существующих магнитоэлектрических генераторов с аксиальным магнитным потоком мощностью 3 кВт КПД находится в пределах 85–95%, что говорит об адекватно разработанном и спроектированном генераторе традиционной конструкции.

Для обеспечения первоначальной мощности машины необходимо увеличить объем активных материалов, в том числе и постоянных магнитов. Был проведен перерасчет машины с учетом применения магнитомягких вставок. В Табл. 1 приведено сравнение массы активных материалов генераторов неуправляемой и управляемой конструкции.

По результатам параметрических расчетов необходимо увеличить массу постоянных магнитов на 37%, электротехнической стали – 28 %, меди – 23%. Средняя стоимость активных материалов приведена в Табл. 2.

Первоначальная средняя стоимость материалов для неуправляемого генератора составила – 5600 грн, а управляемого – 6300 грн., что на 11% выше нежели цена неуправляемого генератора.

Технико – экономическое сравнение показывает целесообразность разработки таких машин, так как использование регулируемых генераторов уменьшает затраты на различные вспомогательные элементы в системах автономных энергокомплексов, таких как блок контроля заряда батареи, автобалластная система, система торможения, как в малых ветроустановках.

Таблица 1. Сравнение массы активных материалов

Тип генератора	P, кВт	G _{пм} , кг	G _{ст} , кг	G _м , кг
Традиционный	3,3	1,191	12,477	8,855
Управляемый 1	1,8	0,596	12,477	8,855
Управляемый 2	3,3	0,95	17,525	11,632

Таблица 2. Средняя стоимость активных материалов

Материал	Цена, грн/кг
NdFeB	1800
Сталь	70...130
Медь	250

Был изготовлен опытный образец генератора мощностью 150 Вт и были сняты зависимости внешних характеристик неуправляемого и управляемого генератора, которые подтвердили адекватность разработанной методики расчета, полевых моделей.

Выводы

1. По результатам аналитического обзора в качестве генератора для микрогидроэлектростанции предложено использование магнитоэлектрического синхронного генератора с аксиальным магнитным потоком.

2. На основе разработанной аналитической методики и полевых моделей была произведена технико – экономическая оценка неуправляемого и управляемого магнитоэлектрического генератора с аксиальным магнитным потоком и обосновано применение управляемого генератора, так как последний имеет больше функциональных возможностей при незначительном увеличении стоимости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Васько П.Ф., Віхорев Ю.О. Мала гідроенергетика: світові тенденції розвитку та українські перспективи/ Васько П.Ф., Віхорев Ю.О.// Електропанорама. – 2009. – № 11. – С. 59–61, № 12. – С. 54–57
2. Лукутин, Б.В. Автономное электроснабжение от микрогидроэлектростанций / Б.В. Лукутин, С.Г. Обухов, Е.Б. Шандарова. – Томск : STT, 2001. – 120 с.
3. Мала гідроенергетика – життєва необхідність // <http://www.proelectro.info>.
4. Карпенко В.В., Карпенко Е.В. Анализ конструктивных вариантов низкоскоростных торцевых синхронных генераторов для МикроГЭС. // Молодежь и наука: начало XXI века, – Красноярск: СФУ, 2011 г.
5. Паластин Л.М. Синхронные машины автономных источников питания. – М.: Энергия, 1980. – 384 с.
6. Jacek F. Gieras, Rong-Jie Wang, Maarten J. Kamper (2008) Axial Flux Permanent Magnet Brushless Machines, Springer, USA.
7. Пат. №105609 Україна, МПК H02K 21/14 Електрична машина торцевого типу з постійними магнітами/ М.В. Богаченко, Є.А. Монахов, В.С. Попков, В.В. Чумак. – №u2015 09706; заявл. 07.10.2015; опубл. 25.03.2016, Бюл. № 6.
8. Чумак В.В. Управление магнитоэлектрическим генератором с аксиальным потоком / В.В. Чумак, Е.А. Монахов // Технічна електродинаміка. – 2016. – № 2. – С. 55 – 57.
9. Монахов Е.А., Чумак В.В. Методика расчета магнитной системы торцевых синхронных магнитоэлектрических генераторов//Вісник Кременчуцького національного університету ім. М. Остроградського. – 2015. – № 1 (90), частина 1. – С. 23 – 26
10. Чумак В.В., Монахов Е.А. Исследование многополюсной торцевой электрической машины для малой гидроэнергетики //Гідроенергетика України. – 2014. – № 4. – С. 35 – 37.