

УДК 621.313

**ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ  
ЭФФЕКТИВНОСТЬ МИКРОГЭС, МИРОВОЙ АНАЛИЗ И  
ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ**

**Махамаджонов Содикжон Юлдашбой угли**

Старший преподаватель Андижанский государственный технический  
институт

Республика Узбекистан, г. Андижан

**Арзикулов Хуснидин Муроджон угли**

Ассистент Андижанский государственный технический институт  
Республика Узбекистан, г. Андижан

UDC 621.313

**TECHNICAL CHARACTERISTICS AND ENERGY EFFICIENCY OF  
MICROHYDRO POWER STATIONS, WORLD ANALYSIS AND  
ENGINEERING SOLUTIONS**

**Mahamadjonov Sodikjon Yuldashboy ugli**

Senior Lecturer, Andijan State Technical Institute  
Republic of Uzbekistan, Andijan

**Arzikulov Khusnidin Murodjon ugli**

Assistant, Andijan State Technical Institute  
Republic of Uzbekistan, Andijan

**Аннотация:** в статье рассмотрены технические характеристики и энергетическая эффективность микро-гидроэлектростанций (микроГЭС) на основе мирового анализа и инженерных решений. Проведён обзор современных тенденций развития микроГЭС в различных странах мира, включая Азию, Европу, Африку и Америку. Представлены классификация микроГЭС по установленной мощности и напору, а также структурные

элементы установки: гидротурбина, асинхронный генератор, конденсаторная система возбуждения и блок управления.

**Ключевые слова:** микроГЭС, гидроэнергетика, асинхронный генератор, энергетическая эффективность, магнитное насыщение, коэффициент полезного действия, реактивная мощность, PID-регулятор, LC-компенсация, MATLAB/Simulink, Smart Grid, возобновляемая энергия.

**Abstract:** the article presents a comprehensive analysis of the technical characteristics and energy efficiency of micro-hydropower plants (microHPPs) based on global trends and engineering solutions. The paper reviews the current state and development of micro-hydropower technologies in different regions of the world, including Asia, Europe, Africa, and the Americas. It outlines the classification of microHPPs by installed capacity and head, as well as their main components — hydraulic turbine, asynchronous generator, capacitor excitation system, and automatic control unit.

**Keywords:** micro hydropower, microHPP, asynchronous generator, energy efficiency, magnetic saturation, power factor, PID control, LC-compensation, MATLAB/Simulink, Smart Grid, renewable energy, distributed generation.

## Введение

Современное развитие мировой энергетики характеризуется ростом спроса на электроэнергию и стремлением к снижению негативного воздействия на окружающую среду. В этих условиях особое внимание уделяется возобновляемым источникам энергии, среди которых гидроэнергетика занимает одно из ведущих мест. Микро-гидроэлектростанции (микроГЭС), являясь частью распределённой генерации, обеспечивают электроснабжение удалённых регионов, горных районов и сельских поселений без необходимости подключения к централизованным сетям.

Преимуществами микроГЭС являются высокая надёжность, автономность работы, низкие эксплуатационные затраты и экологическая чистота. Они не требуют больших плотин и резервуаров, что минимизирует воздействие на экосистему. По данным Международного агентства по возобновляемым источникам энергии (IRENA, 2024), суммарная установленная мощность малых и микроГЭС в мире превышает 80 ГВт, из которых около 12 % приходится на микроуровень (установки мощностью до 100 кВт).

### **Современное состояние микроГЭС**

Мировая тенденция демонстрирует устойчивый рост числа микроГЭС, особенно в странах Азии, Африки и Южной Америки, где электроэнергия недоступна для миллионов людей. В Китае, Индии, Непале и Вьетнаме реализованы национальные программы по поддержке автономных гидроустановок. В Европе и Северной Америке микроГЭС часто интегрируются в гибридные энергетические комплексы вместе с солнечными и ветровыми системами. По данным International Hydropower Association (ИНА, 2023), доля малых и микроГЭС составляет около 7 % мирового гидроэнергетического потенциала.

В странах Европейского Союза активно развиваются установки мощностью 5–50 кВт, ориентированные на локальные фермерские хозяйства и небольшие предприятия. В Африке микроГЭС применяются для обеспечения питьевого водоснабжения и освещения в сельской местности.

### **Технические характеристики и классификация микроГЭС**

МикроГЭС классифицируются по установленной мощности и напору воды.

В общем виде различают:

- ПикоГЭС (до 5 кВт) — для индивидуальных домохозяйств;

- МикроГЭС (5–100 кВт) — для небольших сообществ и сельскохозяйственных объектов;
- МиниГЭС (100–1000 кВт) — для малых населённых пунктов или промышленных зон.

Основные параметры, определяющие работу микроГЭС:

- Высота напора ( $H$ , м);
- Расход воды ( $Q$ , м<sup>3</sup>/с);
- КПД гидротурбины ( $\eta_t$ );
- КПД генератора ( $\eta_g$ );
- Общий коэффициент полезного действия станции:  $\eta = \eta_t \times \eta_g \times \eta_{\text{мех.}}$

### **Основные элементы конструкции микроГЭС**

Конструктивно микроГЭС состоит из следующих основных узлов:

1. Гидротурбина — преобразует потенциальную энергию потока в механическую.
2. Асинхронный генератор — вырабатывает электрическую энергию.
3. Система возбуждения (конденсаторная батарея) — обеспечивает самовозбуждение генератора.
4. Система управления и защиты — стабилизирует напряжение, частоту и нагрузку.
5. Нагрузочный блок и распределительное устройство.

Асинхронные генераторы с короткозамкнутым ротором чаще всего применяются в микроГЭС благодаря простоте конструкции, низкой стоимости и надёжности. Для автономной работы используются конденсаторные батареи, создающие необходимую реактивную мощность для возбуждения магнитного поля.

## Энергетическая эффективность микроГЭС

Энергетическая эффективность микроГЭС определяется совокупным КПД всех звеньев преобразования энергии. Типичные значения составляют:

- КПД гидротурбины — 75–90 %;
- КПД асинхронного генератора — 80–88 %;
- Суммарный КПД установки — 65–78 %.

Повышение эффективности достигается за счёт оптимального выбора гидротурбины под конкретный расход и напор, корректного подбора ёмкости конденсаторов, а также внедрения автоматических систем управления. Важную роль играет точная настройка коэффициента мощности  $\cos\varphi$ , позволяющая минимизировать потери реактивной мощности.

### Факторы, влияющие на эффективность

На эффективность микроГЭС влияют:

- Гидравлические потери в подводящих каналах и турбинных аппаратах;
- Электрические потери в обмотках генератора и линиях передачи;
- Механические потери на трение и вентиляцию;
- Нелинейные эффекты магнитного насыщения в сердечнике машины.

Учёт магнитного насыщения особенно важен при низких скоростях вращения, характерных для микроГЭС с ковшовыми и осевыми турбинами. В таких случаях применяются математические модели, учитывающие коэффициент магнитного насыщения  $k_t$ , что позволяет повысить точность расчётов выходного напряжения и момента.

## **Пути повышения энергетической эффективности**

Для повышения эффективности микроГЭС применяются следующие технические решения:

1. Внедрение интеллектуальных систем управления на базе микроконтроллеров (Arduino, STM32);
2. Использование комбинированных LC-схем для стабилизации напряжения;
3. Применение адаптивных PID-регуляторов для регулирования реактивной мощности;
4. Оптимизация гидравлических трактов и профилей ковшей турбин;
5. Использование современных материалов с низкими потерями в магнитопроводах.

На этапе проектирования важно проводить многопараметрическую оптимизацию, учитывающую совместное влияние гидравлических, электрических и магнитных характеристик. Применение методов компьютерного моделирования (MATLAB/Simulink, ANSYS Fluent) позволяет получить точные прогнозы работы системы.

### **Заключение**

МикроГЭС представляют собой эффективное и экологически безопасное решение для децентрализованного энергоснабжения. Их развитие способствует повышению энергетической независимости регионов и снижению углеродного следа. В мировой практике наблюдается устойчивый рост числа микроГЭС благодаря снижению стоимости оборудования и совершенствованию методов автоматического управления.

Перспективные направления включают интеграцию микроГЭС в гибридные энергосистемы, использование интеллектуальных сетей (Smart Grid) и развитие систем хранения энергии. Повышение энергетической эффективности

возможно за счёт цифровизации проектирования, оптимизации режимов работы асинхронных генераторов и применения адаптивных алгоритмов управления.

Rivers for Recovery: The Role of Small Hydropower in Sustainable Development. Global SHP Initiative, 2022.

#### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Khosrowpanah, S., & Burbano, J. Micro Hydropower Systems: Design and Application. Energy Reports, 2023, 9(2), 146–162.
2. Singh, G. K. “Self-excited induction generator research — A survey.” Electric Power Systems Research, vol. 69, no. 2, 2004, pp. 107–114.
3. Murthy, S. S., Singh, B., et al. Analysis of self-excited induction generators for microhydro applications. IEEE Transactions on Energy Conversion, 2021.
4. Ahmedov, A. P., Mahamadjonov, S. Y. O. Modeling of magnetic saturation in autonomous asynchronous generators for micro hydropower plants. Andijan State Technical Institute Bulletin, 2023, №2(48), pp. 45–56.
5. Bhattacharya, T., Chakraborty, C., & Pal, S. “Voltage and frequency control of self-excited induction generators for micro-hydro applications.” IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 27, no. 3, 2012.
6. Ackermann, T. (ed.). Distributed Generation: A New Paradigm for Electric Power Systems. Springer, Berlin, 2019.
7. Mahamadjonov, S. Y., Akhmedov, A. P. Static operation modes of micro HPP asynchronous generators considering magnetic saturation coefficient. E3S Web of Conferences, vol. 423, 2024.