

Ниязова Г.Н., Яблочников А.М., Сатаркулов К.

**ЖАҢЫ ТҮРДҮҮ МИКРО-СУУЭЛЕКТРОСТАНЦИЯСЫНЫН ЖЫШТЫГЫН
ТУРУКТАШТЫРУУ ЫКМАСЫ**

Ниязова Г.Н., Яблочников А.М., Сатаркулов К.

**ПРИНЦИП СТАБИЛИЗАЦИИ ЧАСТОТЫ МИКРО-ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ
НОВОГО ТИПА**

G.N. Niyazova, A.M. Yablochnikov, K. Satarkulov

**THE PRINCIPLE OF FREQUENCY STABILIZATION OF MICRO-HYDRO
POWER PLANTS OF A NEW TYPE**

УДК: 621.311.212

Кайра жаралуучу энергияны пайдалануу керектиги жана кичине кубаттуулуктагы гидроагрегатты жөнгө салуу маселеси микро-сууэлектростанциясынын (микро-СЭЧ) курулушун ишке ашырууда жаңыча көз карашты талап кылат. Бул макалада микро-СЭЧтин жаңы түрү сунуш кылынат. Анын негизинде кичине кубаттуулуктагы микро-СЭЧтин жыштыгын турукташтыруу жана башкаруунун ыкмасы берилди, ошондой эле «машина-жөнгө салуучу» системасынын математикалык үлгүсү сунушталды. Жыштыкты турукташтыруу ыкмасы өзүн-өзү жөндөөчү (өзгөрүп жөнгө салынуучу массасы жана инерция momenti бар) күүлөнткүч аркылуу гидротурбинанын инерция моментинин чоңдугун өзгөртүүгө негизделген.

***Негизги сөздөр:** микро-сууэлектростанциясынын (микро-СЭЧ), айлануу жыштыгын турукташтыруу, гидротурбинанын инерция momenti, инерция momenti жана массасы өзгөрүп, жөнгө салынуучу автоматташтырылган күүлөнткүч.*

Использование возобновляемой энергии и необходимость регулирования гидроагрегата малой мощности требует нового подхода к конструктивному исполнению микро-гидроэлектростанций (микро-ГЭС). В статье предлагается новый тип микро-ГЭС. На его основе представлен способ управления и стабилизации частоты небольшой по мощности автономной микро-ГЭС, а также приведена математическая модель системы «машина-регулятор». Принцип стабилизации основан на изменении значения момента инерции гидротурбины путем использования маховика с регулируемой массой и моментом инерции.

***Ключевые слова:** микро-гидроэлектростанций микро-ГЭС, стабилизация частоты вращения, момент инерции гидротурбины, маховик с автоматически регулируемой массой и моментом инерции.*

The use of renewable energy and the need for regulation of small hydroelectric power requires a new approach to the constructive execution of the micro-hydro. The article proposes new type of micro-hydro. On the basis of presented method of controlling and stabilizing the frequency small power autonomous micro-hydropower plants, as well as shows a mathematical model of the system "machine-control". The principle of stabilization is based on changing moment of inertia of the flywheel hydro turbine by use of a controlled mass and moment of inertia.

***Key words:** micro hydropower, stabilization of hydroelectric turbine, moment of inertia, handwheel with automatically regulated weight and moment of inertia*

Потенциальные запасы топливно-энергетических ресурсов Кыргызстана достаточно высоки. Однако на сегодняшний день используется лишь малая часть энергетического потенциала страны. При этом большими ресурсами возобновляемой энергии в Кыргызстане обладает именно гидроэнергетика, а значит получение электрической энергии за счет эффективных конструкций гидроагрегатов малой мощности (микро-ГЭС) становится актуальным. Следующим шагом может стать введение автономных микро-ГЭС в энергобаланс страны, создав распределительные сети низкого напряжения, что в свою очередь благоприятно повлияет на стабилизацию энергетического рынка, развитие экономики, обеспечение благополучных экологических условий.

К гидроэнергетическим установкам предъявляется ряд требований, основные из которых – возможность стабилизации и регулирования выходных параметров микро-ГЭС, а также защита от разгона гидротурбины.

В настоящее время при создании микро-ГЭС отдают предпочтение использованию синхронного генератора с системой стабилизации выходного напряжения за счет регулирования тока возбуждения, а для стабилизации частоты применяют регулирование суммарной мощности за счет балластной нагрузки [1], что приводит к неэффективному использованию выработанной электроэнергии. В работе [2] предложен новый оригинальный «Способ управления и стабилизации частоты вращения ротора автономной микро-ГЭС». На основе данного способа разработано новое устройство – «Саморегулирующий адаптивный маховик для генераторов автономных микро-ГЭС» [3].

В данной статье предложен новый способ управления и стабилизации частоты небольшой по мощности автономной микро-ГЭС. Принцип стабилизации основан на изменении значения момента инерции гидротурбины, путем использования маховика с автоматически регулируемой массой и моментом инерции, и регулировании энергии потока воды, поступающего на выходы напорного трубопровода (рисунок 1).

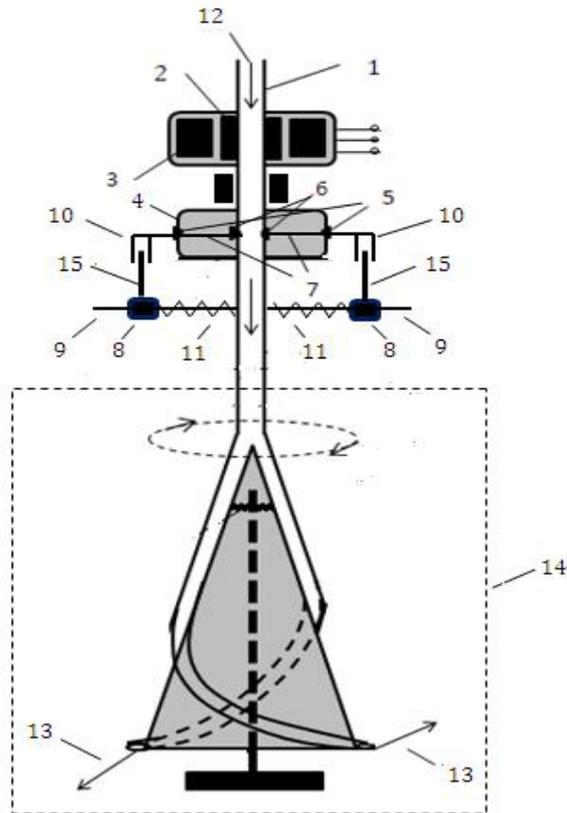


Рисунок 1. Конструкция микро-ГЭС где:

- 1 – напорный трубопровод (НТ), одновременно выполняющий функцию вала гидротурбины (ГТ);
- 2 – ротор генератора, жестко прикрепленный к валу ГТ;
- 3 – статор генератора;
- 4 – полый внутри маховик, разделённый на две части перегородкой и жестко прикрепленный к валу ГТ;
- 5 – наружные клапаны маховика 4;
- 6 – внутренние клапаны маховика 4;
- 7 – спицы, к которым с одного конца жестко прикреплены пластины 10, а с другой стороны клапаны 5 и 6;
- 8 – металлические грузики;
- 9 – стержни, жестко закрепленные к валу 1, на которые насажены грузики 8 с массой m ;
- 10 – пластины;
- 11 – пружины;
- 12 – поток воды, поступающий в напорный трубопровод ГТ;
- 13 – поток воды, выходящий из продолжения напорного трубопровода;
- 14 – гидротурбина;
- 15 – стержни, удерживающие грузики 8.

Способ стабилизации частоты и математическая модель системы «машина-регулятор».

Если обозначить через $\omega(t)$ угловую скорость вращения вала 1 (рисунок 1), то можно записать уравнение, связывающее силовой момент F и угловую скорость $\omega(t)$ следующим образом [1]:

$$J \frac{d\omega}{dt} = F - G. \quad (1)$$

Здесь J – момент инерции вращающегося твердого тела 1 (в случае турбогенератора это вал и жестко связанный с ним ротор электрического генератора).

Силовой момент G в уравнение (1) состоит из полезной нагрузки и момента сопротивления. Например, на электростанциях момент G формирует мощность электрической сети.

Сравнительный анализ способов получения необходимого качества электроэнергии и величин входящих в уравнение движения системы «гидротурбина-генератор» (1) показывает, что стабилизация частоты вращения осуществляется путем использования:

- привода постоянной скорости;
- специальной конструкции электрической машины;
- статического преобразователя частоты.

Для описываемого способа стабилизации частоты уравнение (1) примет вид:

$$J(\omega) \cdot \frac{d\omega}{dt} = F(\omega) - G. \quad (2)$$

где $J(\omega) = J_1 + J_2(\omega)$: J_1 – неизменная составляющая момента инерции маховика и остальных элементов конструкции микро-ГЭС, которые находятся во вращательном движении, когда его полость не заполнена водой, $J_2(\omega)$ – переменная составляющая.

Процесс стабилизации частоты микро-ГЭС осуществляется следующим образом. Поток воды 12 поступает во входное отверстие НТ 1 и, при выходе потока 13 из его выходных отверстий, возникает реактивная отдача. В результате, ротор генератора 2 и маховик 4 приводятся во вращательное движение. На металлические грузики 8 действует центробежная сила f . Эта сила в момент времени t отклоняет массы на величину $\chi(t)$ от ненапряженного состояния пружины.

К грузикам прикреплены стержни 15, которые перемещаясь совместно с грузиками, производят нажимы на пластины 10 и передвигают тем самым спицы 7, закрывая или открывая (в зависимости от того, как движутся грузики вдоль стержня) клапаны. При открытых клапанах 6, клапаны 5 закрываются, а полость маховика наполняется водой. При этом, во-первых, момент инерции вращающейся части микро-ГЭС увеличивается, во-вторых, сила напора воды 13 уменьшается. В итоге угловая скорость $\omega(t)$ вала начинает пропорционально уменьшаться.

Следует отметить, что между величинами χ (перемещения грузиков) и u (перемещение спиц)

существует некоторая функциональная зависимость $u(x)$.

Если угловая скорость $\omega(t)$ вала уменьшается, то центробежная сила, действующая на грузики, также уменьшается, и пружины подтягивают грузики ближе к центру вращения вала. Спицы 7 перемещаются, закрываются клапаны 6, а клапаны 5 открываются. Следовательно, вода не поступает в полость маховика, а находящаяся в ней вода выбрасывается центробежной силой через открытые клапаны 5, уменьшая момент инерции маховика. В этот момент увеличивается сила напора 13 и увеличивается угловая скорость $\omega(t)$.

Из курса механики известно, что величины $x(t)$ и f связаны следующими соотношениями:

$$f = \beta m(x+r)\omega^2, \quad (3)$$

$$m\ddot{x} + a\dot{x} + \gamma x = f. \quad (4)$$

Здесь a, β, γ, r – некоторые положительные числа. Величина γx соответствует упругой восстанавливающей силе пружины (закон Гука), величина $a\dot{x}$ соответствует силе трения. Здесь мы принимаем, что справедлив закон вязкого трения: сила трения пропорциональна скорости $\dot{x}(t)$ и число a является коэффициентом пропорциональности. Другими видами трения мы здесь пренебрегаем. Числу r соответствует длина пружины в ненапряженном состоянии.

Принимая величину G постоянной и величину F функционально зависящей от: $F = F(u)$, получаем из уравнений (2)-(4) следующую систему, описывающую процесс регулирования величины $\omega(t)$ [2]:

$$J(\omega) \cdot \dot{\omega} = F(u(x)) - G, \quad (5)$$

$$m\ddot{x} + a\dot{x} + \gamma x = \beta m(x+r)\omega^2.$$

Естественно, что для нормального функционирования рассматриваемой системы необходимо, чтобы уравнения системы (5) имели следующее решение:

$$\omega(t) \equiv \omega_0, \quad x(t) \equiv x_0. \quad (6)$$

Здесь ω_0 – требуемая частота вращения вала, x_0 – некоторое число, для которого выполнены равенства:

$$F(u(x_0)) = G, \quad (7)$$

$$\gamma x_0 = \beta m(x_0 + r)\omega_0^2. \quad (8)$$

Очевидно, что равенства (7) и (8) необходимы и достаточны для того, чтобы соотношения (6) определяли решение системы (5). Как правило, получения этих соотношений добиваются за счет специальной конструкции регулятора: из физических соображений ясно, что уравнение (7) имеет некоторый корень x_0 , а уравнение (8) можно удовлетворить, например, при уже зафиксированном x_0 , за счет выбора жесткости пружины [4].

В работе [4] показано, как линеаризовать систему (5) в окрестности решений (6), учитывая, что выполнены равенства (7) и (8), и предполагая достаточную гладкость функции $F(u(x))$. Обозначим $\Delta x(t) = x(t) - x_0$ и $\Delta \omega(t) = \omega(t) - \omega_0$, и получим линейную систему:

$$J(\omega, \Delta \dot{\omega}) = F_0(\Delta x);$$

$$m(\Delta \ddot{x} + a(\Delta \dot{x}) + \gamma(\Delta x)) = \beta m \omega_0^2 \Delta x + 2\beta m \omega_0(x_0 + r)\Delta \omega, \quad (9)$$

$$F_0 = F'(u(x_0))u'(x_0)$$

Таким образом, в системе (9) отброшены члены более высокого порядка малости и функции заменены своими линейными приближениями.

Система (9) эквивалентна уравнению третьего порядка:

$$\Delta \ddot{\omega} + \frac{a}{m}(\Delta \dot{\omega}) + \frac{\gamma - \beta m \omega_0^2}{m} \left(\Delta \dot{\omega} - \frac{f_0 F_0}{J(\omega) \cdot m} \Delta \omega \right) = 0, \quad (10)$$

$$f_0 = 2\beta m \omega_0(x_0 + r)$$

Характеристический полином такого уравнения имеет вид

$$Q(p) = p^3 + \frac{a}{m} p^2 + \frac{\gamma - \beta m \omega_0^2}{m} p - \frac{f_0 F_0}{J(\omega) m}. \quad (11)$$

Из теории интегрирования уравнения (10) следует, что для того чтобы любое решение $\Delta \omega(t)$ оставалось малым при малых начальных условиях $\Delta \omega(0), \Delta \dot{\omega}(0), \Delta \ddot{\omega}(0)$, и стремилось к нулю при $t \rightarrow +\infty$ необходимо и достаточно выполнение следующего условия [4]: полином $Q(p)$ может считаться устойчивым, если все его нули имеют отрицательные вещественные части. В этом случае

решение линейной системы асимптотически устойчиво.

Заключение. Для описанного способа управления и стабилизации частоты микро-ГЭС разработана математическая модель «машина-регулятор», позволяющая определить зависимость регулирования частоты вращения вала от параметров конструктивных элементов микро-ГЭС и водотока.

Литература:

1. Лукутин Б.В. Автономное электроснабжение от микро-гидроэлектростанций. – Томск, 2001.

2. Патент № 1744, (Кыргызпатент). Способ управления и стабилизации частоты вращения ротора автономной микро-ГЭС / К. Сатаркулов, А.Б. Бакасова, Г.Н. Ниязова и др.
3. Патент № 1743, (Кыргызпатент). Саморегулирующий адаптивный маховик для генераторов автономных микро-ГЭС / Ж. Шаршеналиев, Б.А. Бакасова, Г.Н. Ниязова и др.
4. Леонов Г.А. Лекции по курсу теории управления I (анализ) / http://www.studmed.ru/leonov-ga-lekcii-po-kursu-teorii-upravleniya-i-analiz_8d9d707b83f.html

Рецензент: д.т.н. Брякин И.В.
