

где  $Q_{\text{баланс}} = Q_{\text{МГЭС}} + Q_{\text{ДЭС}} + Q_{\text{нагр}} \pm Q_{\text{КРМ}}$ .

• Требования к качеству электрической энергии:

Допустимое отклонение напряжения и частоты:

$$0.9 \cdot U_{\text{н}} \leq U_i \leq 1.1 \cdot U_{\text{н}}, \quad (14)$$

где  $U_{\text{ном}}$  – номинальное напряжение системы.

$$49 \leq f_i \leq 51, \quad (15)$$

Допустимая несимметрия напряжения:

$$0.96 \cdot k_{2U_{\text{ном}}} \leq k_{2U_i} \leq 1.04 \cdot k_{2U_{\text{ном}}}, \quad (16)$$

$$0.96 \cdot k_{0U_{\text{ном}}} \leq k_{0U_i} \leq 1.04 \cdot k_{0U_{\text{ном}}}, \quad (17)$$

где  $k_{2U_i}$ ,  $k_{0U_i}$  – значения коэффициентов несимметрии напряжений по обратной и нулевой последовательности.

Рассмотренные математические модели являются универсальными и могут быть применены для разработки алгоритмов управления гибридной автономной системой электроснабжения на базе МГЭС-ДЭС.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Обухов С.Г. Микрогидроэлектростанции: Курс лекции по магистерской программе «Возобновляемые источники энергии» // Томский политехнический университет. – Томск, 2009 – 63 с.
2. Меновщиков Ю.А., Куликова Л.В. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: Учебное пособие/ Ю.А. Меновщиков, Л.В. Куликова; Алт. гос. техн. ун-т. им. И.И. Ползунова. Новосибир. гос. аграр. Ун-т. – Новосибирск, 2007. 356 с.: ил.
3. Шелковская Д.А. АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ РАБОТЫ ГИБРИДНОЙ СИСТЕМЫ МИКРОГЭС-ДЭС / Д.А. Шелковская // Фундаментальные научные исследования: теоретические и практические аспекты: сборник материалов Международной научно-практической конференции (25-26 мая 2016 года), Том III – Кемерово: ЗапСибНЦ, 2016 – с. 169-172.

Научный руководитель: С.В. Митрофанов, к.т.н., доцент, НГТУ.

#### **ПРИМЕНЕНИЕ МРРТ КОНТРОЛЛЕРОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ МИКРО ГЭС**

В.С. Кривоногов

Томский политехнический университет  
ЭНИН, ЭПП

В течении последних десяти - двадцати лет перед человеком остро стоят вопросы, связанные с энергетическим кризисом, экологическими проблемами (глобальное потепление), значительным ростом потребляемой электрической энергии. Решение данных проблем кроется в поиске новых и модернизации уже

используемых источников электрической энергии, которые смогут стать хорошей альтернативой существующих. Одной из подобных технических альтернатив может стать уменьшение расстояния между генерированием и потреблением электрической энергии. В статье рассматривается возможность использования чистой, безотходной технологии производства электрической энергии, которая основана на возобновляемом источнике электроэнергии, воде.

Одним из актуальных и перспективных направлений развития современной малой энергетики является использование микро ГЭС в горной местности с выгодным расположением к потребителям электрической энергии. Для эффективного и экономически выгодного использования электрической энергии, производимой микро ГЭС, необходимо подробно изучить процесс преобразования свободного потока воды в электроэнергию со стабильными выходными параметрами, при оптимальных технико-экономических показателях.

Данная статья носит обзорно аналитический характер, рассматриваются результаты исследований проведенные в данной области, учеными из различных стран.

Основные цели и задачи, которые должен поставить перед собой исследователь для подробного изучения данного вопроса следующие:

1. Оптимизировать работу и выбрать оборудование для микро ГЭС;
2. Разработать эффективные алгоритмы управления станцией;
3. Рассмотреть необходимость использования накопителей энергии;
4. Максимально снизить затраты на гидротехнические сооружения;
5. Оптимизировать установленные мощности микро ГЭС;
6. Адаптировать станцию к различным водотокам.

В рамках данной статьи рассмотрим возможность применения МРРТ контроллеров для получения максимально возможной мощности от гидротехнических устройств. Подобные контроллеры широко используются в инверторах солнечных элементов, заменяя менее эффективные ШИМ контроллеры.

В микро ГЭС обычно используются генераторы электрической энергии, регулирование выходной мощности которых осуществляется за счет изменения напора воды, проходящего через турбину. Однако для того чтобы снизить габаритные размеры и повысить технико-экономические показатели станции, стоит рассмотреть вариант интеграции системы регулирования выходных параметров в электронную часть микро ГЭС. Более того, замена механического регулирования выходной мощности на электронную позволяет повысить надежность станции и качество получаемой электрической энергии.

В качестве примера была использована осевая микро ГЭС с турбиной пропеллерного типа (турбина Каплана), которая хорошо подходит для местности с небольшим перепадом высот и слабым напором. На рисунке 1 показан внешний вид используемой микро ГЭС.[6]

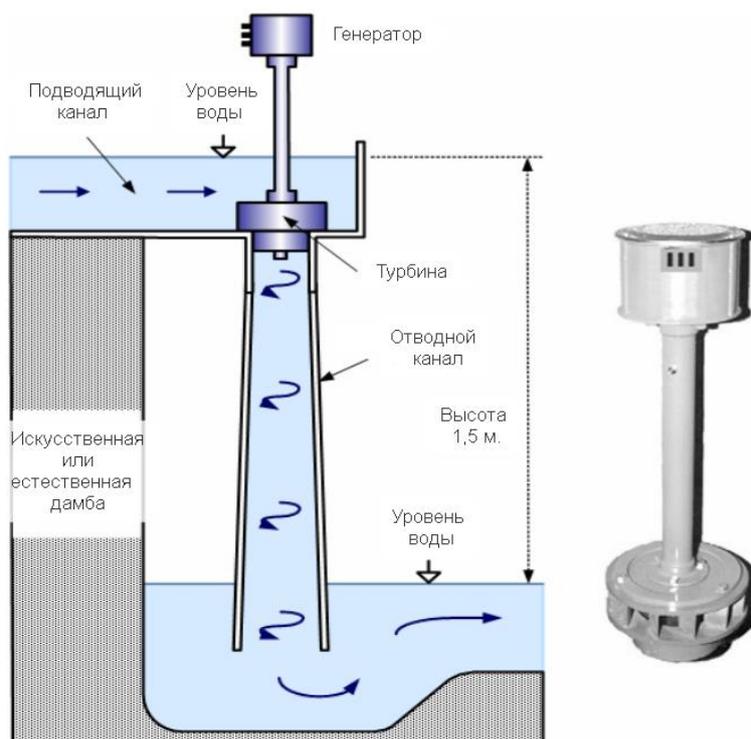


Рис. 1. Осевая микро ГЭС.

Выходная электрическая мощность производимая турбиной, может быть описана следующей формулой.

$$P_{турб} = \rho g H q, \text{ Вт} \quad (1)$$

Где:  $\rho$  -плотность воды ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ),  $g$  -ускорение свободного падения ( $\text{м}/\text{с}^2$ ),  $H$  -высота напора (м),  $q$  -расход воды ( $\text{м}^3/\text{с}$ ).

Связь между механической и гидравлической мощностью может быть описана используя безразмерный коэффициент мощности  $C_p$ , который нелинейно зависит от угловой скорости  $\omega$  ротора турбины.

$$P_{мех} = P_{турб} \cdot C_p, \text{ Вт} \quad (2)$$

Лабораторные статические испытания были использованы для описания актуальной механической мощности вырабатываемой гидравлической турбиной. На рисунке 2 изображены полученные характеры зависимости  $P_{мех}$  от  $\omega$ , при различных постоянных значениях расхода воды  $q$  с неизменным значением высоты напора  $H = 1,5$  м.  $C_p$  есть нелинейная функция от  $\omega$ , соответственно кривая эффективной механической мощности не является параболой, как описывается во многих упрощенных моделях [4-5]. Однако эффективность так же зависит от этой величины.

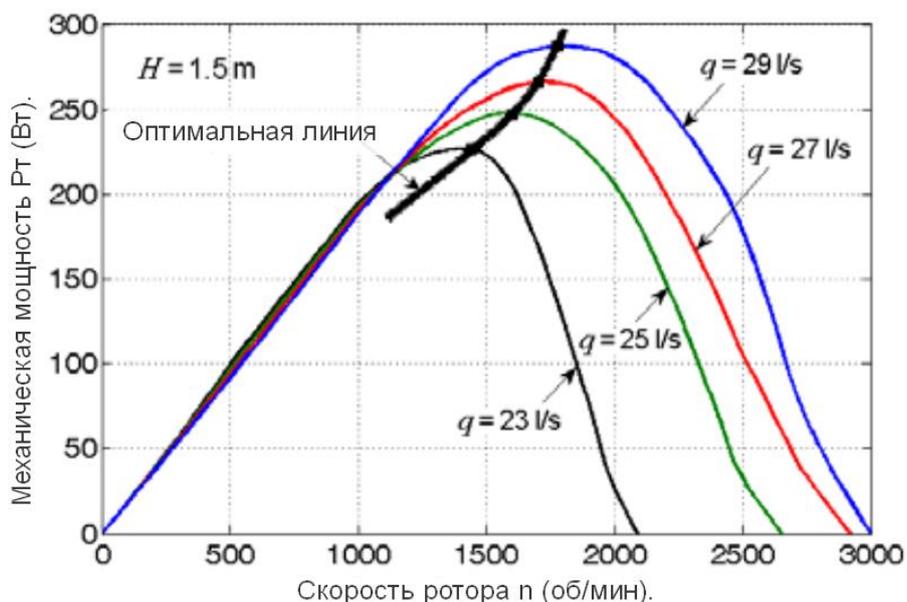


Рис. 2. Зависимость полезной механической мощности от угловой скорости ротора при различных величинах расхода воды.

Точка максимального КПД находится в пределах 85%, при различных значениях высоты напора и расхода воды. Из рисунка 2 видно, что для каждого значения расхода воды существует точка максимальной мощности (ТММ), в которой выходная мощность имеет максимальное значение.

Использование контроллера слежения за точкой максимальной мощности МРРТ для микро ГЭС, позволяет значительно повысить эффективность использования, уменьшить габариты станции и сэкономить на гидротехнических сооружениях (регулирование потока воды).

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Willis H.L. and Skott N.B., "Distributed Power Generation – Planning and Evaluation", Benedick Drecker, N. Y., 2001.
2. Borkowski D., Wegiel T., Small hydropower plant with integrated turbine-generators working at variable speed// IEEE Transactions on Energy Conversion. 2013. Vol. 28. №2. P. 452-459.
3. Лукутин Б.В., Обухов С.Г., Шандарова Е.Б. Автономное электроснабжение от микрогидроэлектростанций. – Томск: STT, 2001. – 120 с.
4. Hang G., Chan L., Dyakovu N. and Shan, Z. "Basic modeling and simulation tool for analysis of hydraulic transients in micro hydro power plants," IEEE Trans. on Energy Conv., 23, 3, 2008, 834-841.
5. Ansel A., Robyns B. Modelling and simulation of an autonomous variable speed micro hydropower station. Mathematics and Computers in Simul., 71, 2006, 320-332.
6. Marquez J.L., Molina M.G., Pacas J.M. 'Modeling and simulation of micro-hydro power plants for applications in distributed generation' HYFUSEN 2009., 13-64.

7. Acha E., Agelidis V., Anaya-Lara O., and Miller T. "Power Electronic Control in Electrical Systems", Newnes, U.K., 2002.
8. T. A. Maynard, H. Foch, P. Thomas, J. Courault, R. Jakod, and M. Nahrstaedt, "Multilevel converter: Basic concepts and industry applications," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 49, no. 5, pp. 955-964, Oct. 2002.

Научный руководитель: Б. В. Лукутин, д.т.н., профессор каф. ЭПП ЭНИН ТПУ.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА РАСПРЕДЕЛЕННЫХ УДЕЛЬНЫХ МОЩНОСТЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТ УСТАНОВКИ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ В ЦЕХЕ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

С.А. Михайлов  
Пензенский государственный университет

На сегодняшний день сформулированы основные методики определения мест расположения цеховой трансформаторной подстанции (ЦТП). Этому вопросу были посвящены работы А.А. Федорова, В.В. Каменевой. В их работах определено, что за оптимальное место расположения ЦТП по условию минимального расхода проводникового материала может приниматься центр электрических нагрузок (ЦЭН), определенный следующим образом:

$$\xi_0 = \frac{\sum_{i=1}^n P_i x_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad \eta_0 = \frac{\sum_{i=1}^n P_i y_i}{\sum_{i=1}^n P_i}, \quad (1)$$

где  $\xi_0$ ,  $\eta_0$  - это координаты ЦЭН;

$x_i$ ,  $y_i$  - координаты  $i$ -той нагрузки;

$P_i$  - мощность  $i$ -той нагрузки [1].

Для удобства назовём этот метод «классическим».

В [5] для отыскания координат ЦЭН предложен метод распределенных удельных мощностей. Достоинства и недостатки данного метода, по сравнению с классическим, рассмотрены на примере цеха машиностроительного предприятия.

Из оборудования в цехе имеются фрезерные, сверлильные, шлифовальные, токарные станки, кран-балки, вытяжные системы, электропечи и бариевые ванны для обработки металла. В качестве исходных данных в обоих методах используются координаты и мощности ЭП.

Для расчета используется значения мощностей нагрузки, приведенные к длительному режиму  $P_{np}$ .