

УДК 626:627

АВТОНОМНОЕ ТЕПЛО- И ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭНЕРГИИ НИЗКОНАПОРНЫХ ВОДОТОКОВ

Миронов В.В., Миронов Д.В., Гульбинас А.С.

ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный архитектурно-строительный университет»,
Тюмень, e-mail: gulbinasa@mail.ru

Использование нетрадиционных и возобновляемых источников энергии является одним из решений проблем тепло- и энергоснабжения для промышленных, коммунальных и сельскохозяйственных объектов. Из всех возобновляемых ресурсов наиболее распространенным является гидроэнергия. Описан способ преобразования кинетической энергии водного потока в потенциальную энергию путем инициирования в замкнутом объеме движущейся в водоводе жидкости периодического гидравлического удара. Под действием потенциальной энергии (энергии давления воды) совершается механическая работа по радиальному перемещению подвижных нагнетательных клапанов-мембран. Подвижные стенки водовода соединены с рабочими органами линейных тепло- и электрогенераторов, которые вырабатывают тепловую и электрическую энергию для автономного тепло и/или энергоснабжения. Такой способ позволяет в единицу времени снимать с потока воды количество энергии значительно большее, чем при использовании различного вида гидротурбин, и достаточное для автономного тепло- и энергоснабжения, при напорах водотока, равных нескольким десяткам сантиметров, и очень малых расходах воды.

Ключевые слова: автономное тепло- и энергоснабжение, малая гидроэнергетика, энергия гидравлического удара

SMALL WATER FLOWS ENERGY USAGE FOR AUTONOMOUS POWER SUPPLY BUILDINGS AND FACILITIES

Mironov V.V., Mironov D.V., Gulbinas A.S.

Tyumen State University of Architecture and Civil Engineering, Tyumen, e-mail: gulbinasa@mail.ru

The use of alternative and renewable energy sources is one of the solutions to the problems of heat and electricity for industrial, municipal and agricultural-governmental facilities. Of all the renewable resources of the most common is hydropower. Hydroelectric dam is the necessary part of hydroelectric power generation plant. But it makes a lot of ecological problems e.g. adjacent area flooding, environmental damage, etc. The article contains a description of the method anticipating water current kinetic energy conversion into potential energy using the effect of hydraulic impact. Water potential energy converting to mechanical energy of relocation of the pipeline wall parts. Moving wall parts of the pipeline are connected to a special linear generators that can produce electrical and thermal power for independent suppliers.

Keywords: autonomous power generation, small-scale hydropower industry, hydraulic impact

Малую гидроэнергетику как одно из направлений возобновляемой энергии в Российской Федерации можно считать наиболее перспективным. Гидроэнергия имеет ряд весомых преимуществ по сравнению с традиционными в наше время энергоресурсами. Для гидроэнергетики нет необходимости добывать, обрабатывать и транспортировать сырье (как например топливо для дизельных генераторов). Но в нашей стране используется гидроэнергетический потенциал в основном только крупных рек с необходимостью сооружения высоких и массивных плотин, наносящих ущерб прилегающим территориям. К сожалению, гидроэнергетический потенциал малых рек остается почти без внимания.

Предлагаемый в работе способ получения тепловой и электрической энергии [2, 3] базируется на преобразовании кинетической энергии всего объема воды, движущегося с начальной скоростью в замкнутом водоводе низконапорных водотоков, в энергию гидравлического удара за короткий промежуток времени при помощи автоматического клапана гидротаранной установ-

ки. Под действием гидравлического удара в установке начинается волновой процесс, давление в трубопроводе повышается, совершается механическая работа по радиальному перемещению подвижных нагнетательных клапанов-мембран гидропривода, соединенных с подвижными рабочими органами линейных тепло- и электрогенераторов [1, 4]. При работе линейных электрогенераторов происходит нагрев и выделение значительного количества тепловой и электрической энергии. Волнообразный процесс изменения давления в установке приводит к дискретности ее работы.

При резком закрывании клапана гидротаранной установки в трубопроводе происходит остановка некоторого объема воды ΔW за время Δt , находящегося в непосредственной близости от закрытого автоматического клапана. Этот объем ΔW представляет собой сумму трех объемов $\Delta W_1, \Delta W_2, \Delta W_3$.

Элементарный объем ΔW_1 образуется за счет упругой деформации стенок трубопровода при повышении ударного давления на ΔP . Элементарный объем ΔW_2 образуется за счет сжатия самой жидкости при повыше-

нии ударного давления на ΔP . Элементарный объем ΔW_3 образуется за счет совершения механической работы по радиальному перемещению подвижных нагнетательных клапанов-мембран гидропривода при повышении ударного давления на ΔP .

Эти элементарные объемы могут быть представлены следующими зависимостями:

$$\Delta W_1 = \Delta \omega \cdot \Delta L = (\pi \cdot D - D_1) \cdot \Delta r \cdot \Delta L; \quad (1)$$

$$\Delta W_2 = \omega_0 \cdot \Delta L \cdot \Delta P \frac{1}{E_1}; \quad (2)$$

$$\Delta W_3 = \Delta h \cdot D_1 \cdot \Delta L, \quad (3)$$

где D – диаметр водовода, м; D_1 – поперечный размер подвижных частей стенок водовода, м; ΔL – элементарная длина водовода, на которой происходит остановка движения элементарного объема воды при гидроударе, м; Δr – элементарное изменение радиуса водовода при его упругой деформации

под действием давления ΔP , м; E_1 – модуль упругости воды, Па; ω_0 – площадь поперечного сечения водовода, м²; $\Delta \omega$ – приращение площади поперечного сечения водовода за счет упругой деформации его стенок, м²; Δh – радиальные перемещения подвижных нагнетательных клапанов-мембран водовода при совершении механической работы под действием давления ΔP , м.

С другой стороны, элементарный объем ΔW , остановившийся на отрезке длины водовода ΔL при закрытии автоматического клапана гидротаранной установки, можно представить в виде зависимости

$$\Delta W = Q \cdot \Delta t = \omega_0 \cdot v_0 \cdot \Delta t, \quad (4)$$

где Q – объемный расход воды в водоводе до гидравлического удара, м³/с; v_0 – скорость движения воды в водоводе до гидроудара, м/с.

Исходя из вышесказанного, получим уравнение:

$$\omega_0 \cdot v_0 \cdot \Delta t = (\pi \cdot D - D_1) \cdot \Delta r \cdot \Delta L + \omega_0 \cdot \Delta L \cdot \frac{\Delta P}{E_1} + \Delta h \cdot D_1 \cdot \Delta L. \quad (5)$$

Введем коэффициент, учитывающий долю подвижных частей стенок водовода в периметре его поперечного сечения

$$k = \frac{\pi \cdot D - D_1}{\pi \cdot D}. \quad (6)$$

С учетом коэффициента k уравнение (6) преобразуется к виду

$$\omega_0 \cdot v_0 \cdot \Delta t = k (\pi \cdot D) \cdot \Delta r \cdot \Delta L + \omega_0 \cdot \Delta L \cdot \frac{\Delta P}{E_1} + \Delta h \cdot D_1 \cdot \Delta L. \quad (7)$$

После математических преобразований, принимая во внимание, что согласно работе [2]

$$\frac{\Delta r}{r} = \frac{\Delta P}{E_2} \cdot \frac{D}{\delta}, \quad (8)$$

где r – радиус водовода, м; E_2 – модуль упругости твердых стенок водовода, Па; δ – толщина твердых стенок водовода, м, что при прямом гидравлическом ударе ударное давление ΔP определяется по формуле [5],

$$\Delta P = \rho \cdot v_0 \cdot c = \rho \cdot v_0 \cdot \frac{\Delta L}{\Delta t}, \quad (9)$$

где c – скорость распространения ударной волны от автоматического клапана гидротаранной установки к началу водовода, м/с; ρ – плотность воды кг/м³.

Получим систему уравнений

$$v_0 = c^2 \cdot v_0 \cdot \rho \cdot \left(\frac{k \cdot D}{E_2 \cdot \delta} + \frac{1}{E_1} \right) + c \cdot \frac{\Delta h \cdot D_1 \cdot 4}{\pi \cdot D^2}; \quad (10)$$

$$\Delta P = \rho \cdot v_0 \cdot c, \quad (11)$$

решая которую при заданных значениях ее параметров можно найти скорость рас-

пространения ударной волны c в водоводе и ударное давление ΔP .

Механическая работа A , совершаемая при последовательном перемещении на длине c от ударного клапана к началу трубопровода подвижных клапанов-мембран водовода на величину Δh , в течение одной секунды, за счет среднего во времени ударного давления в водоводе, равного половине его максимального значения, определяется по формуле

$$A = \frac{D_1 \cdot \Delta h \cdot c \cdot \Delta P}{2}. \quad (12)$$

Эта механическая работа приводит в действие линейные тепло- и электрогенераторы [1, 4], соединенные с подвижными нагнетательными клапанами-мембранами и равномерно распределенные по всей его длине. Выполненная механическая работа по радиальному перемещению подвижных частей водовода и соответственно рабочих органов линейных тепло- и электрогенераторов, соединенных с ними, является одновременно снимаемой механической мощностью, так как выполняется эта работа в течение одной секунды.

Спустя некоторое время после закрытия ударного клапана, давление в установке падает, ударный клапан автоматически открывается; начинается новый цикл, протекающий так же, как и первый. Установка начинает работать автоматически. Полезная механическая мощность снимается на первой фазе гидравлического удара в водоводе, когда потери энергии незначительны, далее следует пауза для накопления кинетической энергии воды в водоводе и процесс повторяется.

Рассмотрим на примере преобразование кинетической энергии потока воды, движущейся в замкнутом водоводе, в энергию гидравлического удара (потенциальную энергию), за счет которой совершается механическая работа по радиальному перемещению подвижных частей стенок водовода, и преобразование, в конечном итоге, этой энергии в тепловую и электрическую. Плотность воды $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$. Диаметр водовода $D = 1,4 \text{ м}$. Толщина стенок водовода $\delta = 0,025 \text{ м}$. Модуль упругости воды $E_1 = 2000000000 \text{ Па}$. Модуль упругости твердых стенок водовода $E_2 = 200000000000 \text{ Па}$. Первоначальная скорость движения воды в водоводе до инициирования гидравлического удара $v_0 = 0,5 \text{ м/с}$. Длина хода (радиальных перемещений) подвижных частей стенок водовода $\Delta h = 0,02 \text{ м}$. Поперечный и продольный размеры подвижных частей стенок водовода $D_1 = 0,1 \text{ м}$. Согласно расчетам по формулам (10)–(12), скорость распространения ударной волны составит $c = 348,65 \text{ м/с}$, а повышение ударного давления в водоводе – $\Delta P = 1,74 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Совершаемая механическая работа за период времени, равный одной секунде $A = 60770 \text{ Дж}$, что представляет собой снимаемую механическую мощность $60,77 \text{ кВт}$.

Кинетическая энергия E_k замкнутого объема воды, движущейся в водоводе до инициирования гидравлического удара, на длине водовода, равной c , определяется по известной физической формуле,

$$E_k = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot \rho \cdot c \cdot v_0^2}{8}, \quad (13)$$

согласно которой кинетическая энергия для нашего примера составит $E_k = 67090 \text{ Дж}$. Анализ величин A и E_k показывает, часть кинетической энергии потока воды, движущегося с первоначальной скоростью, преобразуется в потенциальную энергию упругой деформации самой жидкости и стенок водовода. Остальная, большая часть кинетической энергии расходуется на совершение механической работы по перемещению подвижных частей стенок водовода.

Скорость движения воды $v_0 = 0,5 \text{ м/с}$ в трубопроводе с подвижными в радиальном направлении стенками, диаметром $1,4 \text{ м}$, можно обеспечить при фиксированном коэф-

фициенте расхода трубопроводной системы $\mu = 0,2$. Коэффициент учитывает все гидравлические сопротивления в ней, включая потери напора на трение в трубопроводе и потери напора в клапане гидротарана.

Для сравнения, для получения одинаковой механической мощности $60,77 \text{ кВт}$ при одинаковом объемном расходе жидкости и при таких же скоростях движения воды используют традиционные гидротурбины, для которых необходимы различные значения напоров на входе в гидроагрегаты. Напор на входе в гидроагрегат, в котором энергия потока воды преобразуется в механическую работу с использованием явления гидравлического удара, составляет всего – $0,32 \text{ м}$, а для традиционной гидротурбины необходим напор – $7,9 \text{ м}$. Такой напор для турбины предусматривает сооружение достаточно высокой подпорной плотины.

Описанный способ получения энергии позволяет снимать значительную механическую мощность с маловодных низконапорных водотоков, достаточную для автономного тепло- и энергоснабжения зданий и сооружений. Такой способ получения энергии не требует сооружения массивных плотин, исключает подтопление прилегающих территорий и является экологически чистым. Кроме того, описанный способ имеет ряд преимуществ перед автономным энергоснабжением, основанным на использовании сырьевых ресурсов.

Список литературы

1. Высоцкий В.Е. Линейный генератор с постоянными магнитами для систем электропитания автономных объектов // Известия вузов. Электромеханика. – 2010. – №1. – С. 80–82.
2. Патент РФ № 2412302, 20.02.2011 Способ строительства малых гидроэлектростанций.
3. Патент РФ № 2431758, 20.10.2011 Способ получения электроэнергии и устройство для его реализации.
4. Хитерер М.Я., Овчинников И.Е. Синхронные электрические машины возвратно-поступательного движения. – СПб.: КОРОНА принт, 2004. – 368 с.
5. Штеренлихт Д.В. Гидравлика. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 840 с.

References

1. Visozkyi V.E. Linear permanent magnet generator for power supply systems of autonomous objects. *News of Higher Educational Institutions. Electrical engineering*. 2010. no. 1. pp. 80–82.
2. Patent RU № 2009110379/03, 20.03.2009 Method for construction of small hydropower stations.
3. Patent RU № 2431758, 20.10.2011 Method of producing electricity and a device for its implementation.
4. Chitterer M.Y. Ovchinnikov I.E. *Synchronous electric machines of recurrent and progressive movement*. St. Petersburg: CORONA print, 2004. 368 p.
5. Sterenlicht D.V. *Hydraulik*, Moskwa, Energoisdat, 1984. 840 p. (in Russian).

Рецензенты:

Степанов О.А., д.т.н., зав. кафедрой промышленной теплоэнергетики, Тюменский государственный архитектурно-строительный университет, г. Тюмень;

Чекардовский М.Н., д.т.н., зав. кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции, Тюменский государственный архитектурно-строительный университет, г. Тюмень.

Работа поступила в редакцию 14.02.2012.