

УДК 44.39.29

К ВОПРОСУ ОБ УВЕЛИЧЕНИИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ЗА СЧЕТ ПЕРЕКАЧКИ ВОДЫ ИЗ НИЖНЕГО БЬЕФА В ВЕРХНИЙ БЬЕФ ВОДОХРАНИЛИЩ ВЕТРОСИЛОВЫМИ УСТАНОВКАМИ

Ю. С. Лапшин

Экологическая академия последиplomного образования и управления Министерства экологии и природных ресурсов Украины

ул. Урицкого, 35, г. Киев, 03035, Украина. E-mail: lanko@ua.fm

С. А. Ардашов

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского

ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: ardashov.serhiy@gmail.com

Предложены пути использования водохранилищ гидроэлектростанций в качестве аккумуляторов энергии, вырабатываемой ветросиловыми установками. Рассмотрены три варианта (два последних из них – это авторские решения) подачи воды нижнего бьефа водохранилища в верхний бьеф с целью обеспечения загрузки турбин гидроузла, простаивающих в меженный период. В данном случае – это станция с энергопитанием от ветроустановок, перекачивающая воду в верхний бьеф по трубопроводу; транспортировка воды емкостями, перемещаемыми цепной передачей, получающей энергию через механические приводы от ветроагрегатов; самотечное поступление воды из нижнего бьефа по искусственной галерее к шахте, с последующим подъёмом этой воды из водоприёмника, находящегося в нижней части шахты к устройству, по которому поступившая из нижнего бьефа вода будет сливаться в верхний бьеф. Этот подъем воды осуществляется подъёмником, приводимым в действие ветросиловым агрегатом. Приведена методика расчета эффективности каждого варианта. Обозначены пути дальнейших исследований, намечены способы усовершенствования авторских решений.

Ключові слова: гидроузел, ветроагрегат, бьеф, гидроаккумулирующая станция.

ЩОДО ПИТАННЯ ПРО ЗБІЛЬШЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ ЗА РАХУНОК ПЕРЕКАЧУВАННЯ ВОДИ З НИЖНЬОГО Б'ЄФУ ДО ВЕРХНЬОГО Б'ЄФУ ВОДОСХОВИЩ ВІТРОСИЛОВИМИ УСТАНОВКАМИ

Ю. С. Лапшин

Екологічна академія післядипломної освіти та управління Міністерства екології та природних ресурсів України

вул. Урицького, 35, м. Київ, 03035, Україна. E-mail: lanko@ua.fm

С. А. Ардашов

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: ardashov.serhiy@gmail.com

Запропоновано шляхи використання водосховищ гідроелектростанцій як акумуляторів енергії, що виробляється вітросиловими установками. Розглянуто три варіанти (два останніх із них – це авторські рішення) подачі води з нижнього б'єфу водосховища до верхнього б'єфу з метою забезпечення завантаження турбін гідровузла, що простоюють в меженний період. У даному випадку – це станція з енергоживленням від вітроустановок, яка перекачує воду до верхнього б'єфу по трубопроводу; транспортування води ємностями, що переміщуються ланцюговою передачею та одержують енергію через механічні приводи від вітроагрегатів; самопливне надходження води з нижнього б'єфу по штучній галереї до шахти з подальшим підйомом цієї води з водоприймача, що знаходиться в нижній частині шахти до пристрою, за яким надійшла з нижнього б'єфу, вода буде зливатися у верхній б'єф. Цей підйом води здійснюється підйомником, що приводиться в дію вітросиловим агрегатом. Наведена методика розрахунку ефективності кожного варіанту. Окреслені шляхи подальших досліджень, намічені способи удосконалення авторських пропозицій.

Ключові слова: гідровузол, вітроагрегат, б'єф, гідроаккумуляуюча станція.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Развитие ветровой энергетики в значительной мере тормозится разбегностью во времени благоприятных условий на выработку энергии и спросом на неё. Одним из решений этого вопроса, является строительство при ветростанциях гидро- или электроаккумулирующих станций. Однако это связано с большими капитальными затратами, требованием отчуждения земельных ресурсов и возрастанием техногенной нагрузки на окружающую среду.

Наименее затратным в этом отношении будет использование в качестве аккумулятора выработанной ветростанциями энергии гидроузлов (гидростанция и водохранилище). В этом случае вырабо-

танная ветростанциями энергия используется для возвращения (перекачивания) воды из нижнего бьефа водохранилища в верхний бьеф.

Данная схема неработоспособна только при наполнении водохранилища выше нормального уровня, что имеет место исключительно в период паводка.

Эту «мертвую зону» можно использовать для выполнения ремонтных работ и проведения мероприятий по усовершенствованию оборудования.

Цель данной работы – определение оптимальных параметров конструкций, решающих поставленную задачу с минимальными экономическими затратами,

включая эксплуатационные расходы, цены рисков и максимальным КПД.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.

При решении задачи выполнялось условие недопущения дополнительной нагрузки на конструкцию гидроузла и принципиального изменения режима его работы, т.е. конструкция, осуществляющая водоподъем должна быть расположена на удалении от плотины, дренажного канала, судоходного шлюза, водопропускного комплекса и машинного зала.

Рассмотрены три варианта:

- станция с энергопитанием от ветроустановок, перекачивающая воду в верхний бьеф по трубопроводу;

- транспортировка воды емкостями (схема канатной дороги или фуникулера), перемещаемыми цепной передачей, которая получает энергию через механические приводы от ветроагрегатов;

- самотечное поступление воды из нижнего бьефа по искусственной галерее к шахте, с последующим подъемом этой воды из водоприёмника, находящегося в нижней части шахты к устройству, по которому поступившая из нижнего бьефа вода будет сливаться в верхний бьеф. Этот подъем воды осуществляется подъемником, приводимым в действие ветросиловым агрегатом, работающим на принципах, изложенных в [1] и в данной работе.

Следует особо подчеркнуть, что второй и третий варианты являются авторскими предложениями и рассматриваются впервые.

Достоинства первого варианта:

- простота изготовления и монтажа оборудования;

- отсутствие невыясненных технических моментов, поскольку вся система состоит из прошедших апробацию узлов и деталей, выпускаемых серийно, а выполнение необходимых земляных и строительных работ будет осуществляться в соответствии с действующими нормативами на эти виды работ.

Недостатки первого варианта:

- низкая эффективность (КПД), вызванная потерями значительной части ветровой энергии при переводе её в электроэнергию;

- высокая стоимость оборудования и, соответственно, долгий срок окупаемости.

Достоинства двух представленных вариантов, заключаются в более эффективном использовании энергии перехваченного ветроагрегатом ветрового потока и меньших капитальных затратах на изготовление и монтаж системы.

Недостатки представленных вариантов – более сложная схема доставки воды из нижнего бьефа в верхний и необходимость выполнения пусконаладочных работ в связи с отсутствием опыта промышленного использования.

Окончательный выбор варианта определяют конструктивные, геологические и топографические условия конкретного объекта.

Общие положения. Предполагается эффективность (КПД) использования поданной в верхний бьеф воды равной $\eta=0,85$. Получаем, что для выра-

ботки энергии (A) требуется подать из нижнего бьефа в верхний бьеф воду в объеме, определяемом формулой:

$$A = \eta \cdot V \cdot \frac{H}{367}, \quad (1)$$

где A – количество выработанной гидростанцией дополнительной электроэнергии в кВт·ч; V – объем поданной воды в м³, H – разность уровней воды верхнего и нижнего бьефов в метрах.

Например, для выработки одного кВт·ч электроэнергии на гидростанции «Ататюрк» (Турция) при разнице уровней воды верхнего и нижнего бьефов равной 160 м потребуется подать в верхний бьеф объем воды, определяемый как

$$V = 0,85 \cdot V \cdot \frac{160}{367}. \quad (2)$$

откуда $V = 2,6 \text{ м}^3$.

Соответственно для выработки 1000 кВт·ч потребуется 2600 м³ воды.

Ориентировочная оценка эффективности рассматриваемых вариантов.

Вариант 1. Общая эффективность ветрогидрокомплекса при выработке дополнительной энергии определяется формулой

$$n = \frac{A_g}{A_w}. \quad (3)$$

где A_g – дополнительная энергия, выработанная гидростанцией, A_w – энергия выработанная ветростанциями и затраченная на получение A_g .

$$A_g = A_w - A_T. \quad (4)$$

где A_T – потери энергии в процессе получения A_g .

Коэффициент A_T складывается из A_{T1} – потерь на транспортирование электроэнергии от ветроэлектростанции до центробежного насоса, перекачивающего воду из нижнего бьефа в верхний; A_{T2} – потерь энергии в самом насосе; A_{T3} – потерь энергии при движении воды по трубопроводу и потерь энергии обусловленных превышением уровня выливающейся из трубопровода воды над уровнем воды в водохранилище.

Величина A_{T1} (потери энергии в единицу времени) определяется расстоянием от ветроэнергетической до насосной станции (L), передаваемой мощностью W, площадью сечения передающего кабеля – S, и коэффициентом, зависящим от свойств материала, из которого изготовлена токопроводящая часть кабеля – R:

$$A_{\dot{O}_1} = R \cdot L \cdot \frac{W}{S}. \quad (4)$$

Потери энергии – X на единицу веса транспортируемой жидкости в трубопроводе определяются формулой Дарси-Вейсбаха:

$$X = Y \cdot U^2 \cdot \frac{1}{(2g \cdot d)}. \quad (5)$$

где γ – коэффициент трения, U – скорость течения воды в трубе, l – длина трубы, d – диаметр трубы, g – ускорение свободного падения.

Поскольку значения S в формуле (4) и d в формуле (5) определяются конструктивно, можно положить, что каждая из величин At_1 и At_2 не превысят одного процента передаваемой мощности. Принимая эффективность насосной станции, равной 0,85, получаем, для отношения напора к высоте подъем, равного 0,95 значения эффективности.

$$\eta = 0,85 \cdot 0,85 \cdot 0,95 \cdot 0,99 \cdot 0,99 = 0,6727,$$

т.е. каждый кВт·ч, оплачиваемый по тарифу 18 евроцентов будет снижен до величины 12 евроцентов (уменьшен на 1/3).

Следующие два варианта обладают более сложной системой доставки воды из нижнего бьефа в верхний. Но их достоинство в использовании более эффективного ветроэнергетического оборудования, которое может быть выполнено в одном из следующих видов конструкций.

Ветроэнергетическое устройство состоит из неподвижной опоры, на которой закреплен вал с вертикальной осью вращения, приводимой в движение цепной трансмиссией, которая приводится в движение ветром. Трансмиссия снабжена открылками, выполненными из гибких материалов. Открылки прикреплены к трансмиссии с равномерным шагом по ее длине. Они находятся в раскрытом (рабочем) состоянии при их движении вместе с трансмиссией (за счет давления на них ветра) в направлении от вала до поворотного устройства трансмиссии и закрываются (складываются) при приближении к поворотному устройству трансмиссии.

Раскрытие открылков и их закрытие производится автоматически механизмами при контакте этих механизмов, смонтированных на станине вала и поворотном механизме, с соответствующими выступами на цепной трансмиссии [1].

В настоящее время авторами выполняется разработка, облегчающая управление фиксацией открылков по отношению к ветру, осуществляемая компьютером посредством радиоуправляющей техники.

Определение эффективности цепной схемы.

Энергия ветра, приходящаяся на единицу площади живого сечения ветрового потока

$$\mathcal{E}_y = m \cdot \frac{v^2}{2} = \frac{\rho \cdot V^3}{2} \quad (6)$$

где m – масса воздуха поступившая за единицу времени, V – скорость ветра, ρ – плотность воздуха.

Силу воздействия на преграду, размещенную перпендикулярно направлению движения ветра определяет закон сохранения количества движения.

$$F \cdot t = m \cdot V_1 - m \cdot V_2 \quad (7)$$

где F – сила, действующая на преграду, t – время действия этой силы, m – масса воздуха, движущаяся в направлении, перпендикулярном стенке, V_1 – скорость движения массы до взаимодействия со стенкой, V_2 – скорость движения этой массы в том же направлении после взаимодействия со стенкой.

Если после удара о стенку струя изменяет направление движения на 180 градусов, то справедлива зависимость

$$F \cdot t = 2 \cdot m \cdot V_1 \quad (8)$$

В нашем случае, если поверхность имеет искривление типа приземляющегося парашюта, то формула примет вид:

$$F \cdot t = K \cdot m \cdot V_1 \quad (9)$$

где K – коэффициент, учитывающий особенности вогнутой поверхности.

В дальнейших расчетах этот коэффициент принят равным $K = 1$. Расчетная плотность воздуха ρ предполагалась равной $1,2 \text{ кг/м}^3$.

Таким образом, давление P на каждый квадратный метр преграды при скорости, измеряемой в м/с, равно

$$P = m \cdot (V_1 - V_0) \quad (10)$$

где V_0 – скорость перемещения преграды под действием силы P ; m – масса воздуха, изменяющая направление движения.

В расчете следует принять, а в работе обеспечить скорость $V_0 = 1/3 \cdot V_1$, т.к. именно при этом соотношении V_0 и V_1 КПД системы будет максимальным [1].

Расчет эффективности ветроустановки.

Энергия ветропотока определяется формулой (6). Удельная мощность W (приходящаяся на один квадратный метр живого сечения ветропотока) равна произведению величины силы давления на преграду P на расстояние, на которое переместилась преграда под действием этой силы в единицу времени:

$$W = P \cdot V_0 \quad (11)$$

Эффективность ветросилового устройства η без учета потерь энергии на трение во всех узлах механизмов и расхода энергии на функционирование механизмов, обеспечивающих нормальную работу системы, равна

$$\eta = (V_1 - V_0)^2 \cdot \frac{V_0}{\left(\frac{V_1^3}{2}\right)} = 0,296296 \quad (12)$$

Зависимость удельной мощности ветросилового устройства W_y от скорости ветра V (м/с) при вышеизложенных допущениях имеет вид:

$$W_y = 0,0181 \cdot V^3 \quad (13)$$

Следовательно, при среднекубичной скорости ветра 5 м/с, удельная мощность такого паруса составит $2,265 \text{ кг·м/с·м}^2$. Для обеспечения киловаттной мощности потребуется парус, способный перехватить $102/2,265=45 \text{ м}^2$ живого сечения ветрового потока. А для реализации проекта ветроэнергетической системы мощностью 100 МВт потребуется система парусов, способная перехватить $4,5 \cdot 10^6 \text{ м}^2$ живого сечения ветрового потока. Есть все основания

полагать, что данная технология имеет перспективу уменьшения этих значений, которую они связывают с возможностью частичного использования ветроэнергетического ресурса высот, со средними скоростями 6–8 м/с.

В работе не рассмотрен вопрос уменьшения эффективности предложенной ими технологии за счет необходимости подъема воды на отметку выше уровня воды верхнего бьефа. Действительно, в целях безопасности гидроузла и повышения КПД системы, должен быть создан дополнительный малый бассейн с отметками воды, превышающими отметки гребня плотины. Вода из этого бассейна по пути к водохранилищу будет приводить в действие специальные турбины, которые будут обладать меньшей маневренностью, чем турбины плотины, т.е. выработанная этими турбинами энергия не всегда будет совпадать с пиком ее потребления.

При диапазоне изменения уровня воды верхнего бьефа до шести метров первый вариант (перекачка воды из верхнего бьефа водохранилища в его верхний бьеф по трубопроводу) не нуждается в этом дополнительном бассейне и гидроузле. При этих условиях и в двух других вариантах потерь энергии можно избежать, построив малый бассейн на более низких отметках, а воду из него направить в водохранилище через снабженный вакуумным насосом сифонный акведук.

ON THE ISSUE OF EFFICIENCY ENHANCEMENT OF HYDRO-POWER PLANTS DUE TO THE WIND-DRIVEN PUMPING OVER OF WATER FROM THE TAIL POND TO THE UPSTREAM POND

Yu. Lapshin

Ecological Academy of Post-graduate education and Management of Ministry of Ecology and Nature Resources of Ukraine
vul. Urytskogo, 35, Kyiv, 03035, Ukraine. E-mail: lanko@ua.fm

S. Ardashov

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University
vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: ardashov.serhiy@gmail.com

In the article, the authors have offered the technology based on the use of water reservoirs of hydro-power plants as energy accumulators for wind-driven generating equipment. Three alternate designed were considered (two of them are the proprietary ones) for water transfer from the tail pond to the upstream one in order to load the hydro-turbines, that are idle during the low streamflow period. In this particular case the wind-driven power plant is implied to pump over the water upstream via the pipeline. The water is transferred in tanks by the chain gearing, which is supplied by wind-electric generators via mechanical drives. From the tail pond the water gravity-flowing runs through the man-made gallery to the well with a water intake in its bottom part, from which the water will move to the upstream pond. This water lifting is due to the wind-driven elevator machine operating. Also, there are described the efficiency calculation methods for each of the alternates, as well as the ways for further research development and proprietaries improvement.

Key words: hydro-electric complex, wind turbine, pool, hydro-accumulative plant.

REFERENCES

1. Lapshin, Y.S., Ardashov S.A. (2013), "A towerless wind power plant", *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*, vol. 3, no. 80, pp. 50–53.
2. Budzyak, V. (1992), "Formation of wind power in Ukraine", *Energetika Ukrainy*, no. 3, pp. 13–17.
3. Denisenko, G.I., Kozlovskii, G.A., Fedosenko, L.P. (1986), *Proektirovanie i raschet vetroelektricheskikh stantsii* [Design and calculation of wind power stations], KPI, Kyiv, Ukraine.

ВЫВОДЫ. Увеличение производительности гидроэлектростанций за счет подачи в водохранилище дополнительного количества воды из нижнего бьефа в верхний бьеф с помощью ветросиловых установок в меженный период приведет к увеличению выработки дополнительной энергии, способной покрывать пиковые нагрузки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лапшин Ю.С., Ардашов С.А. Безбашенная ветроэнергетическая установка // Вісник Кременчуцького національного університету. – Кременчук: КрНУ, 2013. – Вип. 3/2013 (80). – С. 50–53.
2. Будзяк В. Становление ветроэнергетики в Украине // Энергетика Украины. – 1992. – № 3. – С. 13–17.
3. Проектирование и расчет ветроэлектрических станций: учеб. пособ. / Г.И. Денисенко, Л.П. Федосенко, Г.А. Козловский. – К.: Изд-во КПИ, 1986. – 64 с.
4. Преобразование и использование ветровой энергии / О.Г. Денисенко, Г.А. Козловский, Л.П. Федосенко. – К.: Техніка, 1992. – 174 с.
5. А.с. СССР № 1000583. Ветроэлектростанция / Лапшин Ю.С., Степаненко В.Н., Кleshov В.В., Юрченко В.М.; заяв. 18.11.1981, опубл. 28.02.1983, Бюл. № 8.
6. А.с. СССР № 1021805. Устройство для отклонения ветрового потока. / Лапшин Ю.С.; заяв. 12.09.1980, опубл. 07.06.1983, Бюл. № 21.

Стаття надійшла 24.10.2013.