

А.В.Мадатов*, А.С.Кузнецов**

*ООО НПИК «Коралл Инвест Технологис», г.Днепропетровск

**Экспериментальное отделение

Морского гидрофизического института НАН Украины, пос.Кацивели

ЭФФЕКТИВНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ МОРСКИХ ВОЛН

Рассмотрены проблемы эффективности преобразования энергии морских волн в полезную энергию, в частности, в электрическую. В условиях Чёрного моря построена и испытана эффективная волноэнергетическая станция нового типа.

В условиях дефицита ископаемого топлива и загрязнения атмосферы продуктами его сгорания практическое значение приобретает использование энергии морских волн. Оценка средней мощности, которую несут волны Мирового океана, даёт величину 100 ТэраВт, в то время как мощность, генерируемая всеми электростанциями мира, – около 100 ГигаВт.

Известны преобразователи энергии поверхностных волн на воде в механическую энергию, которые преобразуют возвратно-поступательное движение воды во вращательное посредством гидравлической передачи энергии с поршневых насосов на гидромотор (гидротурбину) [1 – 4]. Недостатком такой системы является ненадёжность работы клапанной системы, большие потери на трение и, как результат, перегрев гидравлической жидкости, необходимость частого ремонта вследствие износа поршневой группы, большие механические нагрузки на движущиеся детали, что приводит к повышенной металлоёмкости конструкции и риску поломки конструкции во время шторма.

Этого недостатка лишены устройства без возвратно-поступательного движения деталей. Известны преобразователи энергии волн в механическую энергию (осциллирующий столб – *Oscillation Column*), которые в качестве поршня используют движение воды в камерах, сообщающихся с морем [5 – 6]. Вода передаёт энергию посредством выталкивания из камер и всасывания воздуха через воздушный коллектор. Реверсивный поток воздуха подаётся на турбину, лопатки которой имеют асимметричный профиль дозвукового крыла с обеих сторон. При этом турбина вращается в реверсивном потоке всё время в одну и ту же сторону благодаря разности давления на короткий передний и длинный задний скосы асимметричного профиля. Однако при этом к.п.д. турбины не превышает 5 – 10 % из-за неоптимальной формы лопаток турбины: угол атаки лопастей постоянный по всей длине лопаток, в то время как лопатки с переменным углом атаки (т.н. «круткой лопастей») работают намного эффективнее. Сама же турбина требует прецизионного изготовления и балансировки и может быть изготовлена только на специализированных предприятиях.

Учитывая низкую плотность и скорость воздушного потока в коллекто-

ре, обусловленную довольно низким периодом волн, для преобразователя большой мощности необходимо строить турбину больших размеров. Это обуславливает слишком большую стоимость системы. К тому же, недостатком этой системы является наличие воздушных клапанов, которые ещё больше снижают к.п.д. и надёжность системы. Вот почему стоимость электрической энергии, вырабатываемой такими устройствами, оказывается выше коммерческой и подобные устройства не находят спроса.

Известны устройства для преобразования энергии волн на поверхности воды, содержащие закрепленный на поверхности водоема ротор в виде множества полунадводных ковшеобразных емкостей, которые циклически равномерно размещены вокруг в целом горизонтального вала и жестко связаны с этим валом [7 – 9]. Ось вращения ротора расположена на высоте среднего уровня воды и ориентирована вдоль направления распространения волн. При набегании волны ковшеобразные емкости с одной стороны ротора, обращенные устьями вверх (направленные вверх), заполняются водой. Ковшеобразные с другой стороны ротора, обращенные устьями вниз (направленные вниз), остаются заполненными воздухом и при погружении всего ротора в воду стремятся всплыть, за счет чего создается крутящий момент. При откате волны направленные вниз ковшеобразные емкости опорожняются, а направленные вверх ковшеобразные емкости остаются заполненными водой, что также создает направленный в ту же сторону крутящий момент.

Такие устройства могут эффективно работать только при условии, что высота волн превышает вертикальный размер ковшеобразной емкости. Исходя из этого требования, высота ковшеобразной емкости должна быть менее среднестатистической высоты волн в данной акватории. С другой стороны, энергетическая эффективность устройства прямо пропорциональна величине заполняемого водой объема емкости и, следовательно, ограничения по высоте ковшеобразной емкости обуславливает ограничение энергетической эффективности устройства в целом. Другими словами, если для получения заданной мощности устройства его емкости должны иметь высоту 0,5 м, то это означает, что при высоте волн менее 0,5 м происходит полная остановка устройства. Оптимальным в этом случае представляется установка с высотой емкостей, которая не превышает среднестатистическую высоту волн в данной акватории. Такая установка будет работать практически бесперебойно, но ее удельная мощность (мощность на единицу общего объема установки) оказывается ограниченной.

В устройстве [7], известном как ротор Винкранца, опоры вращения валов прикреплены к донным опорам, чем ограничивается вертикальное и горизонтальное смещение ротора под воздействием волн и ветра. Устройство содержит также платформу с установленным на ней электрическим генератором, вал которого соединен с частично погруженный ротором.

Когда ротор Винкранца или отдельные его участки периодически накрываются волнами, то, как это описано выше, ковшеобразные емкости с одной стороны ротора оказываются заполненными водой, а с другой стороны – свободными от воды, за счет чего создается момент сил, приводящий к вращению ротора. Наиболее эффективно устройство работает при условиях, что длина ротора равна или превышает длину морской волны, в спокойной

воде ротор погружен в воду наполовину и его диаметр близок к высоте волны. Здесь под длиной волны понимается горизонтальное расстояние в направлении распространения волны между соседними однофазными участками поверхности волновой поверхности, например, между вершинами двух соседних волн. При этих условиях каждый из участков ротора периодически проходит фазы полного или почти полного погружения в воду и полного или почти полного выхода из воды и достигается теоретически возможный максимум отбора энергии волны. Длины ветровых волн обычно находятся в пределах 20 – 50 м, а так называемой «зыби» 50 – 120 м. Таким образом, минимальная длина ротора Винкранца должна быть от 20 до 50 м. При этом конструкция ротора должна выдерживать большие механические нагрузки, которые возникают при воздействии на него морских или океанских волн. С учетом реальных условий эксплуатации конструкция такой длины обеспечение прочности ротора требует специальных решения и применения особо прочных материалов, в результате чего стоимость устройства возрастает настолько, что его эксплуатация становится нерентабельной.

Научно-производственная инвестиционная компания «Коралл Инвест технологии» разработала и изготовила, а Экспериментальное отделение Морского гидрофизического института НАН Украины испытало устройство для преобразования энергии морских волн в механическую энергию роторного типа, в котором при любой длине ротора будет обеспечен эффективный отбор энергии волн. Укороченные роторы (8 м) объединены в пару с помощью общей рамы, на которой также размещён редуктор и генератор электрической энергии.

Лопастей представляют собой ковши трапециевидного сечения из резины или гибкого пластика толщиной 1 – 3 мм. Ковшеобразные емкости каждого из роторов одной такой пары ориентированы зеркально по отношению к ковшеобразным емкостям противоположного ротора, что обеспечивает противоположное направление создаваемых ими вращающих моментов и горизонтальную устойчивость всей конструкции.

Испытания показали устойчивость системы во время шторма, эффективность его работы при различных режимах волнения, надёжность узлов и материалов.

Удельная мощность установки может быть увеличена за счет дальнейшего наращивания количества пар роторов, размещенных на общем жестком каркасе. Ясно, что количество таких пар можно наращивать и далее до разумных с инженерной точки зрения размеров.

Волновая электростанция (ВЭС) представляет собой устройство для преобразования энергии морских волн в электроэнергию. ВЭС находится на плаву и закорена в прибрежных водах. Волны вращают рабочие валы, приводящие в движение электрогенератор. Электрический ток с электрогенератора передается потребителю по подводному кабелю на берег или судно. Схему и принцип работы ВЭС можно посмотреть на сайтах проекта [10, 11].

Получение экологически безопасной электроэнергии актуально для потребителей, расположенных вдоль морского побережья, в особенности в курортных зонах с кризисным положением в энергоснабжении.

Наиболее перспективные потребители энергии ВЭС:

– прибрежные коммерческие предприятия, которые развивают туристический бизнес, создают коммуникационную инфраструктуру, внедряют информационные и Интернет-технологии;

- рыбацкие поселки;
- морские исследовательские станции;
- небольшие промышленные и сельскохозяйственные предприятия;
- маяки, навигационные буи и др.

ВЭС может использоваться для обеспечения электроэнергией энергии любого потребителя – как автономного, так и подключенного к обычной электросети. Маленькие ВЭС (до 100 кВт) являются особенно подходящими для расположенных на побережье автономных потребителей: населенные острова, гостиницы, пансионаты, дома и так далее.

Крупные ВЭС (100 – 3000 кВт) целесообразно подсоединять к общей электросети с целью продажи энергии. Возможно подключение потребителя к ВЭС и сети через специальный электронный коммутатор. Когда потребление энергии меньше, чем вырабатывает ВЭС, потребитель может получать дополнительный доход от поставщика электроэнергии, если потребление больше – оплачивает только недостающее количество энергии, получаемое от поставщика.

В любом случае, расходы владельца ВЭС на электроэнергию будут значительно ниже, чем у обычного потребителя, подключенного только к электрической сети.

Наши устройства для преобразования энергии волн могут быть изготовлены из переработанной (вторичной) пластмассы методом автоматического экструзии стандартных полых профилей, что гарантирует их низкую стоимость. В связи с этим имеется возможность получения дополнительных доходов от государственных субсидий на утилизацию пластика.

Производительность устройства зависит от количества и объема роторов. Реальная электрическая мощность, которую можно снять определенной площади воды, зависит от амплитуды волны:

$$P = \rho g h^2 S / T,$$

где ρ – плотность воды, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с²; h – амплитуда волн, м; S – площадь съема энергии, м²; T – период волн, с.

Механическая мощность, отбираемая роторами от волн, описывается формулой:

$$W = \lambda \rho V g \eta / T,$$

где ρ – плотность воды, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с²; λ – амплитуда волн, м; V – рабочий объем роторов, м³; T – период волн, с; η – коэффициент полезного действия, %.

Для непрерывного электроснабжения автономных потребителей (например, отдельно стоящий прибрежный дом, пансионат, потребляющий 5 – 25 кВт) необходимо использовать энергоаккумулирующее устройство (например, устройство для получения водорода как топлива для двигателей, батарей топливных элементов и др.).

Наилучшим материалом для ВЭС являются полиолефины (ПЭВД,

ПЭНД, ПП) из-за их дешевизны (\$ 500 – 650 за тонну), стойкости на воздухе и в морской воде (3 – 5 лет, а с УФ-радиопротекторами и более), возможности переработки отслуживших ВЭУ в новые ВЭУ. Устройства надежны и просты в эксплуатации, замена пластиковых частей требуется не более одного раза за 3 – 5 лет.

Наиболее производительной и наименее затратной технологией производства ВЭС является непрерывная экструзия рабочих валов на экструзионной машине из полиолефинов. Профиль нарезается на куски нужной длины (10 – 30 м), насаживается на полуоси из нержавеющей стали и полученные таким образом рабочие валы собираются на трубчатой раме. Затем устанавливается трансмиссия – литые шестерни из того же материала. Генератор нужной мощности во влагозащищенном исполнении приобретается на стороне.

Расчёт себестоимости электрической энергии, вырабатываемой ВЭС, можно сделать по формуле:

$$S = M/Q, \quad M = P(K + kT), \quad Q = PTt,$$

$$S = P(K + kT)/PTt, \quad S = (K/Tt) + k$$

где S – себестоимость электроэнергии, кВтч; M – затраты на производство электроэнергии, \$; Q – количество произведенной электроэнергии, кВтч; P – мощность ВЭС, 10 кВт; K – удельные капитальные затраты, 1250 \$/кВт; k – удельные текущие затраты на техобслуживание 0,01 \$/кВт-ч; T – жизненный цикл ВЭС, 10 лет; t – время работы на протяжении года, 4000 ч/год.

При этих значениях себестоимость выработанной энергии 0,04 \$/кВт-ч, что находится на уровне стоимости энергии от сети для розничного потребителя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. www.pelamis.com
2. www.finavera.com/en/wave
3. www.ceto.com.au
4. www.cwavepower.com
5. www.wavegen.co.uk
6. www.wavedragon.net
7. WO 81/02329, F03B 13/12, 1981
8. GB 2,110,763, F03B 13/12, 1983
9. RU 2,065,078, F03B 13/12, 1996
10. <http://easy-energy.iatp.org.ua>
11. <http://www.incubator.dp.ua/Projects/Wave>

Материал поступил в редакцию 03.11.2008 г.