

УДК 621.311.21: 532

М.В. ИВАНОВ**ПРИМЕНЕНИЕ ГИДРОТУРБИН ОРТОГОНАЛЬНОГО ТИПА
В ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ МАЛОЙ МОЩНОСТИ***USE OF ORTHOGONAL HYDROTURBINES IN LOW-HEAD HYDRO-ELECTRIC POWER PLANTS*

Рассматриваются конструкции гидротурбин ортогонального типа, применяемые в энергетических установках малой мощности. Приводится описание новой гидротурбины, разработанной для миниГЭС. Описываются методика исследований и созданные физические модели усовершенствованной конструкции турбины. Приводятся результаты гидравлических исследований условий обтекания потоком моделей лопастей ортогональной гидротурбины.

Ключевые слова: гидроэнергетическая установка, конструкция гидротурбины, физическая модель, гидравлические исследования.

Малая гидроэнергетика может внести существенный вклад в надежное и экологически чистое энергообеспечение потребителей, в частности, не имеющих подключения к общей энергетической сети. Малые, а особенно минигидроэлектростанции (МГЭС и миниГЭС) могут быть быстро, с незначительными финансовыми затратами и минимальными экологическими ущербами сооружены на малых реках [1-4]. Конструкции таких гидроэлектростанций сильно отличаются друг от друга и зависят от применяемого типа и параметров гидротурбин. Остановимся только на одном, специфическом, типе турбин, использующих кинетическую энергию водного потока, – на ортогональных гидротурбинах.

Специфика гидротурбин ортогонального типа в том, что рабочее колесо с лопастями размещается в потоке воды так, что ось занимает положение поперек направления потока. Сами лопасти по форме напоминают профиль крыла самолета. От набегающего потока воды на профиле возникает подъемная сила, за счет которой и происходит вращение такой гидротурбины.

Следует отметить, что ортогональные турбины нашли более широкое применение в ветроэнергетике для устройства ветроколес. Здесь они имеют замечательное преимущество: их работа не зависит от направления ветра. При любом направлении ветра

Orthogonal hydroturbines constructions used in low-head hydro-electric power plants are viewed. A new model of hydroturbine for this type of power plants is presented. Exploration technology and engineered physical models of developed hydroturbine construction are described. The results of hydraulic tests of conditions of waterflow of orthogonal turbine blades are given.

Key words: hydro-electric power plant, hydroturbine construction, physical model, hydraulic tests.

воздушный поток будет воздействовать на лопасти и вращать ветровую турбину [5-8].

Автором выполнен литературный и патентный поиск технических решений ортогональных турбин гидро- и ветроэнергетических установок с целью выбора наиболее эффективных для применения на миниГЭС. Анализ конструктивных решений ортогональных турбин и условий их работы показал, что если рабочее колесо такой турбины размещать в водном или воздушном потоке, то коэффициент использования мощности потока будет малым. Значительная часть потока будет проходить мимо рабочего колеса (обходить его) без воздействия на лопастную систему. Для увеличения степени полезного использования потока рекомендуется устраивать на подходе к турбине направляющий конфузорный (сужающийся) участок, а в выходной зоне – диффузорный (расширяющийся) участок. Именно такие ветровые агрегаты разработаны учеными кафедры природоохранного и гидротехнического строительства (ПГТС) Самарского государственного архитектурно-строительного университета [9-14]. Эти направляющие устройства – концентраторы потока существенно увеличивают скорость потока в зоне лопастей [15-17], что вызывает повышение эффективности работы энергоустановки.

В водном потоке ортогональные турбины также могут размещаться с концентраторами потока. Раз-

работками конструкции и исследованиями таких гидротурбин в составе проточного тракта ГЭС в России традиционно занимались ученые и специалисты Всесоюзного научного института «Гидропроект». Классическая конструкция гидроэнергетической установки с ортогональной турбиной, созданной исследователями этого института, описана в [18]. Концентраторами потока в ней являются конфузورный напорный водовод и диффузорный отвод. Рабочее колесо выполнено в виде ротора Дарье, вал которого расположен перпендикулярно продольной оси турбинной камеры и соединен при помощи траверс с лопастями, имеющими аэродинамический профиль.

Конструкция получила дальнейшее развитие в направлении повышения коэффициента полезного действия. Примером является гидротурбинная установка [19], которая снабжена подводящим 1 и отводящим 2 водоводами, а также выступами 9, 11 и 12, расположенными на боковых стенках 10 (рис. 1).

Водоводы и выступы как раз и выполняют роль концентраторов водного потока. Установка снабжена также направляющими элементами 13, выполненными в виде утолщений удобообтекаемой формы. Они служат для обеспечения безотрывного расширения потока в отводящем водоводе 2. При работе установки возникает реактивная тянущая сила в направлении движения лопастей 7, являющаяся составляющей подъемной силы аэродинамического профиля лопасти, что ускоряет их движение [19]. Благодаря такой конфигурации проточного тракта, КПД гидротурбинной установки по сравнению с известными конструктивными решениями увеличивается.

Недостатками конструкций рассмотренных гидроэнергетических установок являются значительные трудозатраты и большая стоимость изготовления сложных по форме профилей лопастей. Для устранения отмеченных недостатков с участием автора разработана конструкция гидравлической турбины, схема которой приведена на рис. 2 [20, 21].

В ней предусмотрено применение не полнопрофильных лопастей, а лопастей 3, состоящих из отдельных поверхностей: напорной 7 и тыльной 8. Для обеспечения жесткости конструкции между поверхностями устанавливаются соединительные элементы. Поверхности укреплены на траверсе 4.

Применение отдельных напорных и тыльных поверхностей лопасти, выполненных в виде криволинейных элементов, позволит использовать материал одной толщины, например, прокатный лист металла, что существенно уменьшит трудоемкость и стоимость изготовления лопасти.

На эффективность работы ортогональной гидротурбины большое влияние оказывает форма профиля лопасти и условия обтекания ее водным потоком. С целью изучения этого вопроса автором были выполнены гидравлические исследования физической модели лопастей ортогональной гидротурбины различной формы.

Исследования проводились на плоской физической модели. Исследованы три формы лопасти. Для первого варианта форма лопасти турбины была принята соответствующей аэродинамическому профилю крыла самолета, описанному по координатам GA(W)-1. Форма лопасти приведена на рис. 3,а.

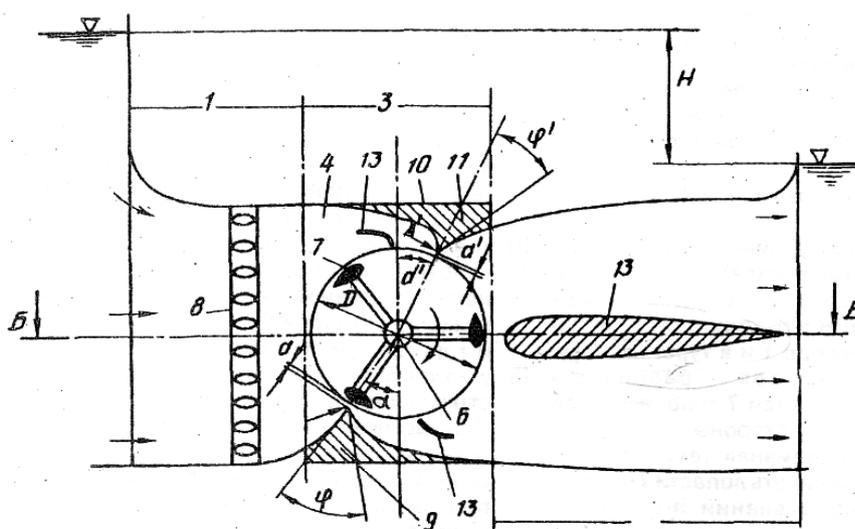


Рис. 1. Гидротурбинная установка по [19]: 1, 2 – водоводы; 3 – турбина; 4 – турбинная камера; 5 – рабочее колесо; 6 – вал; 7 – лопасти; 8 – затвор; 9, 11, 12 – выступы; 10 – стена

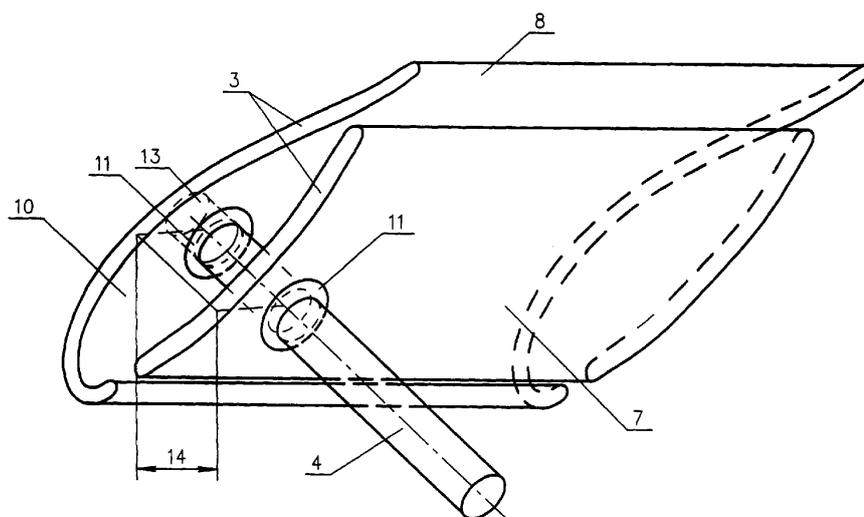


Рис. 2. Конструктивная схема лопасти ортогональной гидротурбины [20]

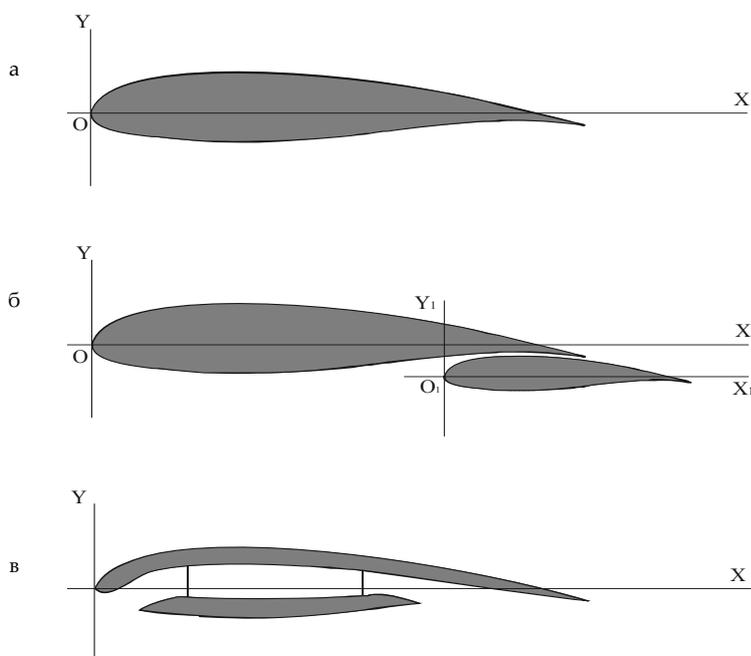


Рис. 3. Схемы исследованных моделей лопасти гидротурбины

Второй вариант формы лопасти предусматривал по своей сути сдвоенную лопасть – исходный профиль и дополнительный, который назовем закрылком, примыкающий к исходному профилю. Форма сдвоенной лопасти приведена на рис. 3,б. Сдвоенная лопасть выбрана по аналогии с выдвигающимся закрылком крыла самолета. Подобная форма соответствует форме крыла самолета при определенных условиях полета, в частности, когда самолет набирает высоту при взлете или приближается к земле при посадке. В этих условиях скорость самолета значительно меньше, чем в условиях штат-

ного полета. Поэтому форма крыла с закрылком обеспечивает значительное увеличение подъемной силы из-за увеличения площади крыла и изменения его формы. На рис. 3,б представлена схема сдвоенной лопасти в исходном положении. В выполненных исследованиях положение закрылка относительно самой лопасти изменялось из-за ее смещения вдоль лопасти и из-за изменения угла наклона закрылка.

Третий вариант формы лопасти представлял собой биплановую конструкцию (рис. 3,в). Общий контур профиля лопасти соответствовал первому исходному варианту. Вместе с тем такая форма кон-



Рис. 4. Общий вид экспериментальной установки

тура лопасти обеспечивалась за счет совместного применения двух отдельных плоскостей: напорной (на схеме – нижней) и тыльной (на схеме – верхней). Между этими плоскостями сохранялась незамкнутая полость. Для придания лопасти жесткости плоскости были соединены между собой продольными ребрами. Модель была изготовлена длиной 200 мм и наибольшей толщиной 34 мм.

Гидравлические исследования выполнялись с использованием экспериментальной установки кафедры ПГТС с замкнутой системой водооборота. Основными элементами установки являются: напорный бассейн, гидравлический лоток, состоящий из трех участков – подводящего, рабочего и отводящего, водосливной бак, промежуточный водосборный бак, накопительный бак, система водоподводящих трубопроводов и насос. Гидравлический лоток был изготовлен из оргстекла, в рабочей зоне которого размещались модели. Его размеры: длина 3.4 м, высота 0.04 м и ширина 1.2 м. Верхняя сторона рабочего участка выполнена съемной для обеспечения установки и необходимого расположения исследуемой модели. Общий вид экспериментальной установки приведен на рис. 4.

В начале лотка был установлен успокоитель. При работе установки вода из накопительного бака подается центробежным насосом производительностью до 30 л/с в подводящий трубопровод диаметром 80 мм и далее по системе трубопроводов в напорный бассейн. Из напорного бассейна вода движется по гидравлическому лотку, в котором установлена модель, откуда попадает в водосборный бак, а затем перетекает снова в накопительный бак. Для регулирования подачи необходимого расхода воды

в напорный бассейн используется электрический регулятор частоты вращения вала насоса.

Для обеспечения подобия физической модели натурным условиям в эксперименте соблюдены геометрическое подобие, в том числе подобие начальных и граничных условий, и подобие кинематических характеристик. Кроме того, был выполнен анализ критериев динамического подобия.

Поскольку моделировалось течение в напорном водоводе, то критериальное уравнение записывалось в виде

$$f(Eu; Re; k/R) = 0,$$

где Eu – критерий Эйлера; Re – критерий Рейнольдса; k/R – относительная шероховатость стенок водовода.

В состав критерия Эйлера входит перепад давлений, величина которого неизвестна, следовательно, определяющим критерием является число Рейнольдса и предыдущую зависимость можно записать в виде

$$Eu = f(Re; k/R).$$

Для зоны квадратичного сопротивления окончательно принимались следующие условия динамического подобия:

$$Eu = idem \quad \text{и} \quad Re > Re_{\min}.$$

С целью обеспечения подобия относительной шероховатости стенок водовода рабочий канал был выполнен из оргстекла, эквивалентная шероховатость которого, после подготовки поверхности, принималась равной 0,02-0,08 мм.

В ходе выполнения эксперимента, на первом этапе исследований, определялась качественная кар-

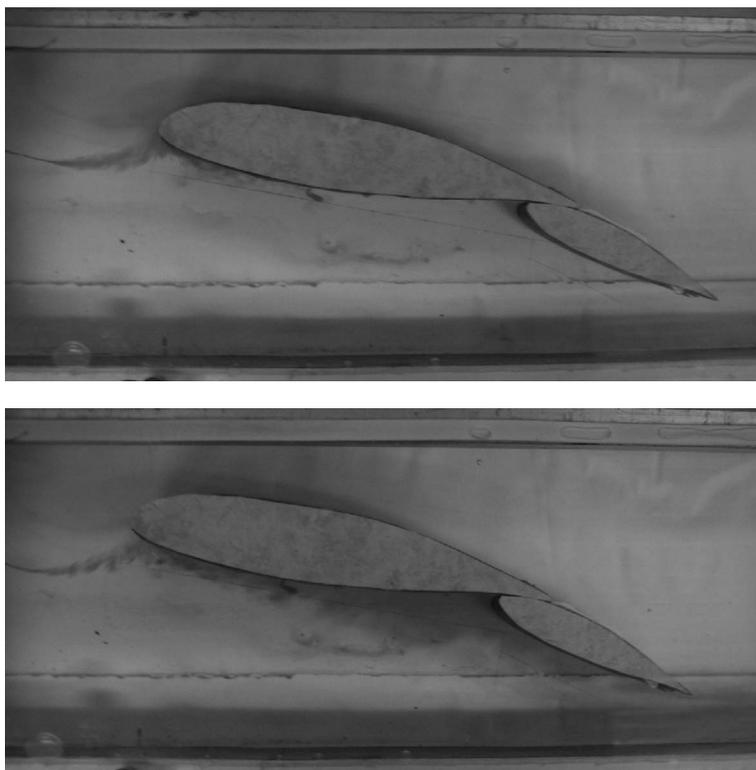


Рис. 5. Вид обтекания водным потоком лопасти с закрылком с углом наклона 15° :
а - тыльной поверхности; б - напорной поверхности

тина обтекания водным потоком моделей лопасти ортогональной гидротурбины.

При исследовании картины обтекания потоком модели сдвоенной лопасти турбины были рассмотрены варианты, отличающиеся величинами смещения закрылка вдоль основной лопасти и углами его наклона в диапазоне от 0 до 30° . На рис. 5 представлены примеры полученных картин обтекания напорной и тыльной поверхностей лопасти с закрылком, имеющим угол наклона 15° .

Результаты исследования показали, что с увеличением смещения закрылка в сторону выходных кромок лопасти и с увеличением угла его наклона возрастают скорости потока на тыльной стороне лопасти и уменьшаются скорости потока на ее напорной поверхности. Если угол наклона закрылка превышает 20° , то на тыльной стороне закрылка возникает отрыв водного потока, а на напорной стороне образуется область с весьма малыми скоростями потока.

Полученные данные показали, что установка закрылка с углом наклона более 20° нецелесообразна. Указанное положение обеспечивает увеличение подъемной силы на профиле из-за уменьшения давления на тыльной поверхности лопасти. Таким

образом, эксперимент подтвердил эффективность применения профиля лопасти гидротурбины с большей величиной ширины, чем профиль, соответствующий аэродинамическому очертанию крыла самолета с координатами GA(W)-1. Целесообразно также использовать составную лопасть и (или) более изогнутую форму.

Выводы. 1. В гидроэнергетических установках малой мощности целесообразно применять гидротурбины ортогонального типа совместно с потоконаправляющими концентраторами водного потока, обеспечивающими увеличение скорости набегающего потока в зоне размещения лопастей турбины.

2. Конструктивно лопасти ортогональной турбины могут быть выполнены из отдельных изогнутых элементов постоянной толщины, которые соединены в общую форму, соответствующую аэродинамическому профилю.

3. Результаты выполненных экспериментальных исследований физических моделей показали, что для ортогональной гидравлической турбины целесообразно применять более широкие и более изогнутые лопасти, чем лопасти с профилем, соответствующим аэродинамическому очертанию крыла самолета.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бальзанников М.И., Елистратов В.В. Возобновляемые источники энергии. Аспекты комплексного использования / СГАСУ. Самара, 2008. 331 с.
2. Бальзанников М.И. Актуальные направления развития возобновляемой энергетики в Среднем Поволжье // Вестник Волжского регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук. Вып. 8. Н.Новгород: Изд-во Нижегородского гос. арх.-строит. ун-та, 2005. С. 173-185.
3. Мухаммадиев М.М., Ташматов Х.К. Совершенствование схемы использования кинетической энергии водного потока // Вестник ТГТУ. 2007. № 3. С. 35-38.
4. Бальзанников М.И. Энергетические установки на основе возобновляемых источников энергии и особенности их воздействия на окружающую среду // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Строительство и архитектура. 2013. Вып. 31(50), ч. 1. С. 336-342.
5. Бальзанников М.И., Евдокимов С.В. Эффективность использования ветроэнергетических установок в Среднем Поволжье // Региональная экология. 1999. № 1. С. 113-116.
6. Бальзанников М.И., Евдокимов С.В., Галицкова Ю.М. Влияние потоконаправляющих устройств на характеристики установки, использующей энергию течения // Труды НГАСУ. Новосибирск: НГАСУ, 2000. Вып. 2. С. 68-77.
7. Бальзанников М.И. Решение проблем развития энергетики на основе возобновляемых источников энергии в Среднем Поволжье // Научная школа академика Ю.С. Васильева в области энергетики и охраны окружающей среды: Сб. научн. тр. СПб.: СПбГПУ, 2004. С. 25-39.
8. Бальзанников М.И., Евдокимов С.В. Результаты исследований ветровых энергоустановок малой мощности для условий Среднего Поволжья // Непрерывное архитектурно-строительное образование как фактор обеспечения качества среды жизнедеятельности: Труды РААСН. Воронеж: Изд-во Воронежского гос. арх.-строит. ун-та, 2005. С. 236-243.
9. Бальзанников М.И. Ветроагрегат // Патент РФ 2062352. 1996. Бюл. № 17.
10. Бальзанников М.И., Сучилина Т.В. Ветроэлектрический агрегат // Патент РФ 2088797. 1997. Бюл. № 24.
11. Бальзанников М.И., Алексеев Е.И., Евдокимов С.В. Роторный ветроагрегат с полноповоротными лопастями // Патент РФ 2347103. 2009. Бюл. № 5.
12. Бальзанников М.И., Евдокимов С.В., Галицкова Ю.М. Ветроагрегат // Патент РФ 2167336. 2001. Бюл. № 14.
13. Бальзанников М.И. Направления совершенствования конструкций ветроэнергетических агрегатов // Энергетическое строительство. 1994. № 10. С. 14-24.
14. Бальзанников М.И., Евдокимов С.В. Эффективные конструкции энергетических установок на основе возобновляемых источников энергии // Perspektywiczne opracowania są nauką i technikami-2013: Materiały IX Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji. Volume 38. Techniczne nauki. – Przemysł: Nauka i studia. 2013. С. 25-34.
15. Бальзанников М.И., Евдокимов С.В. Исследования влияния концентраторов ветрового потока ветроэнергоустановок // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2006. № 10. С. 113-117.
16. Бальзанников М.И., Евдокимов С.В., Галицкова Ю.М. Влияние потоконаправляющих устройств на характеристики установки, использующей энергию течения // Труды НГАСУ. Новосибирск: НГАСУ, 2000. Вып. 2. С. 68-77.
17. Евдокимов С.В. Новые конструкции энергетических установок на основе ВИЭ, обеспечивающие эффективность и надежность их работы // Промышленное и гражданское строительство. 2010. № 8. С. 35-38.
18. Шполянский Ю.Б., Усачев И.Н., Лятхер В.М., Историк Б.Л., Бернштейн Л.Б. Гидротурбинная установка // Патент SU 1606731. 1990. Бюл. № 42.
19. Историк Б.Л., Шполянский Ю.Б. Гидротурбинная установка // Патент РФ 2044155. 1995. Бюл. № 9.
20. Бальзанников М.И., Евдокимов С.В., Иванов М.В. Гидравлическая турбина // Патент РФ 2369770. 2009. Бюл. № 28.
21. Бальзанников М.И., Иванов М.В. Гидротурбина для миниГЭС // Вестник МГСУ: Научно-технический журнал. 2013. № 12. С. 10-15.

© **Иванов М.В., 2014**

Об авторе:

ИВАНОВ Михаил Владимирович

ассистент кафедры природоохранного и гидротехнического строительства
Самарский государственный архитектурно-строительный университет
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194,
тел. (846) 242-21-71, (846) 242-17-84
E-mail: sgasu@samgasu.ru

IVANOV Mikhail

Assistant of the Environmental Protection and Hydrotechnical Structures Chair
Samara State University of Architecture and Civil Engineering
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194,
tel. (846) 242-21-71, (846) 242-17-84
E-mail: sgasu@samgasu.ru

Для цитирования: *Иванов М.В.* Применение гидротурбин ортогонального типа в гидроэнергетических установках малой мощности // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2014. Вып. № 1 (14). С. 68-73.