

УДК 519.711.2:621.311.212

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО УГЛА ЛОПАСТИ ВОДЯНОГО КОЛЕСА

<sup>1</sup>Сатыбалдыев А.Б., <sup>2</sup>Матисаков Т.К., <sup>1</sup>Агтокуров А.К.

<sup>1</sup>*Ошский технологический университет им. М. Адышев, Ош, e-mail: oshtu@hotmail.com;*

<sup>2</sup>*Ошский государственный университет, Ош, e-mail: oshsu-oms@gmail.com*

В статье рассматриваются преимущества водяного колеса перед гидротурбиной и недостатки, ограничивающих его использования в качестве гидродвигателя в равнинных (сельскохозяйственных) частях Кыргызстан. Рассмотрена воздействие водного потока на лопасть, и факторы влияющие на его КПД. Проведен общий математический анализ процесса превращения энергии водного потока лопастью в полезную механическую энергию. Дан рисунок с поясняющей схемой взаимодействия лопасти с водным потоком и график показывающий изменение скорости в зависимости от угла атаки водного потока к поверхности лопасти. Выведены заключения об эффективности использования водяного колеса и способе его увеличения.

**Ключевые слова:** Водяное колесо, лопасть, водный поток, угловая скорость, угол атак

## DEFINITION OF THE OPTIMUM ANGLE OF THE BLADE OF THE WATER WHEEL

<sup>1</sup>Satybaldyev A.B., <sup>2</sup>Matisakov T.K., <sup>1</sup>Attokurov A.K.

<sup>1</sup>*Osh technical university of M. Adyshv, Osh, e-mail: oshtu@hotmail.com;*

<sup>2</sup>*Osh State University, Osh, e-mail: oshsu-oms@gmail.com*

It is considered advantages of a water wheel in front of the water-wheel and the shortcomings limiting its uses as a hydraulic engine in flat (agricultural) parts Kyrgyzstan in the article. It was considered impact of a water stream on the blade, and the factors influencing its efficiency. The general mathematical analysis of process of transformation of energy of a water stream by the blade is carried out to useful mechanical energy. Drawing with the explaining scheme of interaction of the blade with a water stream and the schedule showing change of speed depending on an angle of attack of a water stream to a blade surface is given. The conclusions about efficiency of use of a water wheel and a way of its increase are made.

**Keywords:** Water wheel, blade, water stream, angular speed, angle of attack

Кыргызстан – горная страна с большим количеством рек и значительным водным балансом. Широкое распространение для выработки электроэнергии в удалённых районах получают гидроэлектростанции – малой мощности, в силу экономичности получения, доступности и большего объема гидроэнергетического потенциала малых рек. Подавляющее большинство энергоустройств для выработки электричества используют в качестве гидродвигателя турбину, и лишь малая часть – водяные колеса.

Это объясняется тем что, гидротурбины, выпускаются производством, широко распространены и имеют преимущество в скорости вращения, надёжности и технологичности производства, хотя требуют большого напора и скорости проходящей через них воды, что ограничивает область их применения полноводными реками и водохранилищами, сохраняющие, относительно, водный баланс круглый год. А водяные колеса используются в основном в качестве насоса для поднятия воды, в реках сельскохозяйственного назначения с малым напором и скоростью.

Причины малого распространения водяных колёс – низкая частота вращения, большие габариты и сложность отбора механической энергии. В то же время простота их конструкции, доступное обслуживание, удобство в эксплуатации, низкие затраты на обустройство каналов для установки, высокая эффективность при низких напорах и малых скоростях, что широко распространено в сельских зонах (равнинных частях) Кыргызстана делает его привлекательным для использования в качестве гидродвигателя [1, 2].

По своему устройству на водные потоки водяные колеса делятся на вертикальные и горизонтальные; по использованию водной энергии – на напорные и безнапорные, по приему водного потока – верхнебойные, среднебойные и нижнебойные. Конструкцию водяного колеса условно можно разделить на три части:

- 1) Ось;
- 2) Опора (балки) для крепления лопастей, закрепленная на оси;
- 3) Лопасти. Обычно их КПД (всех типов) составляет в пределах 0,3–0,8 [3].

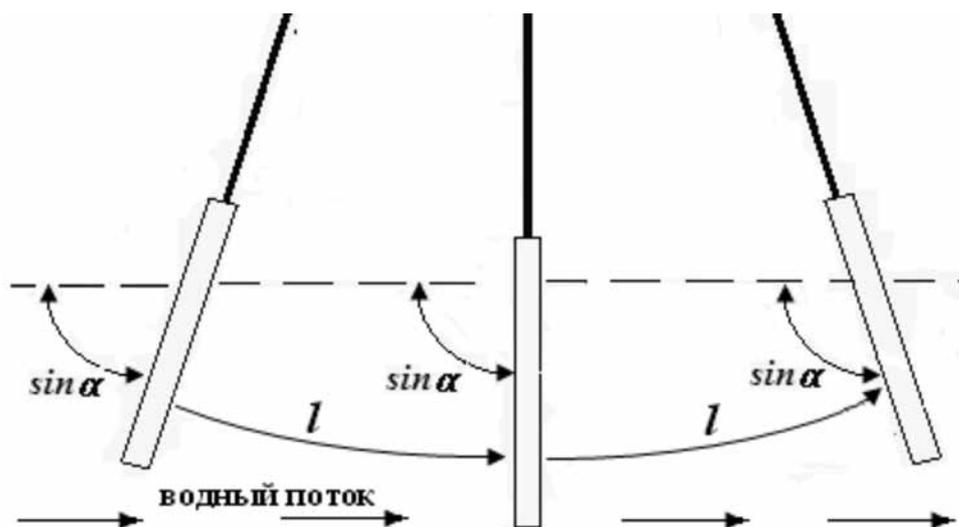


Рис. 1. Движение лопасти в водном потоке

Так как непосредственно передача энергии осуществляется через систему лопасть – опора – ось, то и эффективность водяного колеса зависит от их конструкции. В данном случае мы рассмотрим процесс передачи энергии (потенциальной и кинетической) водного потока к лопасти – вход лопасти в водный поток и силы, действующие на него со стороны потока и противодействующие ему. При расчете лопасти принимаются как удлиненные четырехугольники с прямыми сторонами.

Водный поток давит на лопасть перпендикулярно его плоскости, и угол между потоком воды и лопастью составляет  $90^\circ$ , когда лопасть полностью или максимально погружена в водный поток [4]. В этот момент времени происходит максимальный переход энергии водного потока на лопасть, что мы собираемся показать математическим путем для единичной лопасти, погруженной в водный поток. На рис. 1 водный поток ударяется о площадь лопасти, погруженную в воду, и обтекает её. В этот момент времени водный поток совершает работу, сдвигая лопасть на определенное расстояние. Это расстояние определяет вращающий момент центральной оси водяного колеса. Кроме того, показан угол атаки  $\sin \alpha$  на лопасть водным потоком. Из совокупности факторов (масса, скорость и угол атаки) изменяется полезная работа или сила единичной лопасти, что рассмотрим ниже.

Начнем с того, что совершаемая работа водного потока по вращению водяного колеса получается изменением кинетической энергии:

$$\frac{mv_1^2}{2} - \frac{mv_2^2}{2} = Fu\Delta t, \quad (1)$$

где  $m$  – масса воды, действующая на лопасть за время  $\Delta t$ , кг;  $v_1^2$  – начальная скорость потока воды, м/с;  $v_2^2$  – конечная скорость потока воды, м/с;  $F$  – сила, приводящая в движение водяное колесо с линейной скоростью  $u$ , Н.

Изменение скорости потока воды  $v_2^2$  равняется линейной скорости водяного колеса  $u$ . Тогда

$$\frac{mv_1^2 \sin \alpha}{2} - \frac{mu^2}{2} = Fu\Delta t, \quad (2)$$

откуда

$$m = \rho \cdot l \cdot s \cdot u \cdot \Delta t, \quad (3)$$

где  $\rho$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>;  $l$  – глубина погружения лопасти, м;  $s$  – его поперечное сечение, м<sup>2</sup>;  $u$  – скорость входящего водного потока;  $\Delta t$  – время скорости водяного колеса, с;  $\sin \alpha$  – угол атаки лопасти к направлению потока воды.

Подставив (2) в формулу (3), получим:

$$\left(v_1^2 \sin \alpha - u^2\right) \frac{\rho \cdot s \cdot h \cdot u \cdot \Delta t}{2} = Fu\Delta t. \quad (4)$$

Сократим время  $\Delta t$  и линейную скорость  $u$  в обеих сторонах равенства (4), тогда выражение примет вид:

$$F = \frac{\rho \cdot s \cdot h}{2} \left(v_1^2 \sin \alpha - u^2\right). \quad (5)$$

Данное выражение характеризует полезную силу единичной лопасти водяного колеса, передаваемую через вал на генератор.

Теперь рассмотрим эту силу с точки зрения скорости водяного колеса. Из уравнения (5) сила будет равна:

$$F = ma = \frac{u_1 - u}{t} m = \frac{\rho \cdot s \cdot h}{2} (v_1^2 \sin \alpha - u^2), \quad (6)$$

где, используя (3) получим:

$$\frac{u_1 \sin \alpha - u}{t} \rho \cdot l \cdot s \cdot h = \frac{\rho \cdot s \cdot h}{2} (v_1^2 \sin \alpha - u^2).$$

Сокращая одинаковые значения, получаем:

$$\frac{u_1 \sin \alpha - u}{t} l = \frac{(v_1^2 \sin \alpha - u^2)}{2}.$$

Приравнявая его к расстоянию  $l$ , пройденному лопастью за время  $t$ :

$$\frac{l}{t} = \frac{v_1^2 \sin \alpha - u^2}{2} = \frac{v_1^2 \sin \alpha - \omega R}{2}.$$

Откуда,

$$\frac{2l}{t} = v_1 \sin \alpha - \omega R;$$

$$\frac{2l}{t} - v_1 \sin \alpha = -\omega R;$$

$$v_1 \sin \alpha - \frac{2l}{t} = \omega R,$$

где  $\omega$  – угловая скорость, об/с;  $R$  – радиус водяного колеса, м.

Преобразовывая, получаем угловую скорость:

$$\omega = \frac{(v_1 \sin \alpha - \frac{2l}{t})}{R}. \quad (7)$$

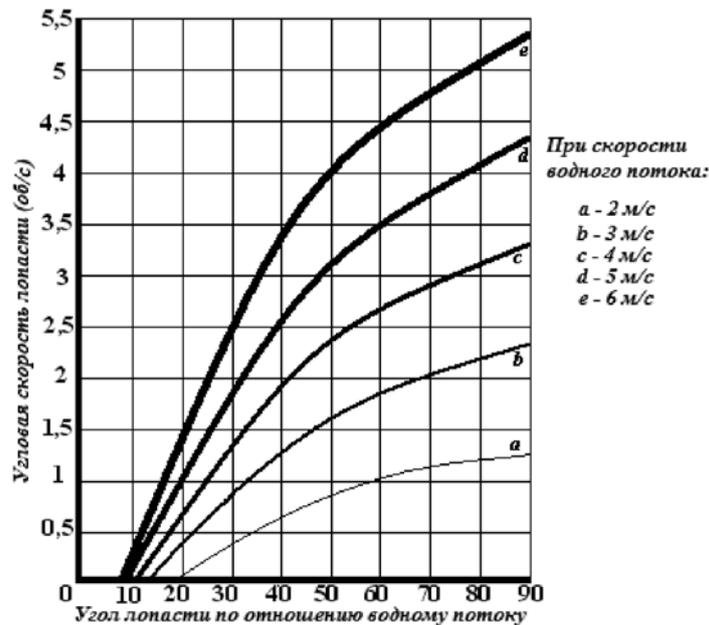


Рис. 2. Зависимость угловой скорости лопасти от его угла по отношению водному потоку

На основе (7) выведена зависимость угловой скорости лопасти от его угла к водному потоку (рис. 2). Исходя из графика, когда водный поток ударяется о поверхность лопасти строго перпендикулярно, скорость водяного колеса принимает максимальную величину. При уменьшении угла атаки угловая скорость лопасти падает, как и передаваемая сила. Правильность вывода подтверждается тем, что лопасти имеют наибольший К.П.Д при криволинейной форме исполнения, так как при этом достигается максимально близкое значение к  $90^\circ$  при любом положении лопасти по окружности водяного колеса в водном потоке [5].

Исходя из вышесказанного, можно сделать следующие выводы:

1. Лопасть эффективно работает, когда угол атаки к направлению водного потока максимально приближен к  $90$  градусам. Лопасть должна изготавливаться криволинейной формы, что обеспечит максимально близкое значение угла атаки к водному потоку и наибольшую величину передаваемой энергии;

2. Угловая скорость увеличивается с уменьшением радиуса водяного колеса, что позволяет использовать его вместо турбины для тихоходных генераторов;

3. Использование водяных колес эффективно для генерации электроэнергии при малых скоростях водного потока и низких напорах, чем характеризуются малые реки.

#### Список литературы

1. Орозбеков Э.Т., Кожобаев С.К. Лопастные водяные колёса в приводах различных установок // Известия Ош ТУ. – №1. – 2004. – С. 59-62.
2. Токомбаев К.А. Новые принципы использования возобновляемых источников энергии в сельском хозяйстве горных районов (на примере Киргизской ССР). АН КиргССР, Ин-т автоматики. – Фрунзе. Илим, 1990. – 280 с.
3. Monson O.W., Armin J.Hill. Overshot and current water wheels// Bulletin 398. Montana State University. USA.
4. Юренков В.Н., Иванов В.М., Клейн Г.О., Блинов А.А., Родивилина Т.Ю., Иванова П.В. Методика расчёта обтекания лопасти водяного колеса // Вестник АлтГУ им. И.И. Ползунова. – №2. – 2006.
5. Теплотехника для студентов под ред. А.П. Баскаков. – 2-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 224 с.: ил.