

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ НИЗКОНАПОРНОГО ГИДРОАГРЕГАТА

Кандидаты техн. наук НЕДБАЛЬСКИЙ В. К., СИЗОВ В. Д., инж. БУЛЫНЯ А. А.,  
канд. физ.-мат. наук ВЕРЕМЕНЮК В. В., инж. ШАТАЛОВ И. М.

Белорусский национальный технический университет

В последние десятилетия в развитых странах мира проводятся интенсивные исследования по использованию возобновляемых источников энергии.

Актуальность таких исследований очевидна и в Республике Беларусь, так как энергетика страны практически полностью зависит от импорта энергоносителей. В то же время в условиях республики важным резервом развития энергетики является строительство малых и микрогидроэлектростанций (МГЭС).

В географических условиях Беларуси экономически нецелесообразно возведение высоконапорных плотин, кроме того, необходимо использовать энергию холостых сбросов плотин, шлюзов, сточных вод. Производимые в настоящее время за пределами страны гидротурбины работают при напоре воды свыше 2 м, следовательно, необходимо разработать гидроагрегат с высоким КПД при напоре воды 0,5... 2 м.

Известны десятки патентов Российской Федерации, Украины и других зарубежных стран, выданных на низконапорные гидроагрегаты, например [1–3]. Цель настоящей работы – обоснование конструкции низконапорной гидротурбины, у которой КПД на 10...15 % выше, чем, скажем, у нижнебойного колеса.

При вхождении лопасти колеса в поток воды существует определенный участок пути ее движения (сектор вращения), где противодействующий движению лопасти момент силы вначале больше, а затем сравнивается с крутящим моментом силы гидродинамического давления набегающего потока. Поэтому для повышения КПД необходимо, чтобы лопасти колеса проходили этот участок с минимальными потерями энергии.

Момент силы при воздействии потока воды на лопасть равен

$$M_1 = \frac{\rho \vartheta^2 b}{2} l_{\text{смоч}} l_* \sin \alpha.$$

Здесь и далее  $\rho$  – плотность воды;  $\vartheta$  – скорость потока;  $l_{\text{смоч}}$  – длина смоченной поверхности лопасти;  $l_*$  – координата точки приложения силы гидродинамического давления (отсчитывается от оси колеса);  $\alpha$  – угол между вектором скорости потока и плоскостью лопасти;  $b$  – ширина лопасти.

Противодействующий вращению колеса момент силы, действующей на лопасть при ее входе в воду плашмя, равен

$$M_2 = m \frac{\vartheta - \vartheta_1}{\Delta t} l_*,$$

где  $m = \rho S_{\text{смоч}} \delta$  – масса «возмущенной» жидкости (величину  $\delta$  можно принять равной  $\delta = k_\delta b$  с коэффициентом  $k_\delta = 0,1$ );  $\vartheta_1$  – горизонтальная составляющая вектора линейной скорости лопасти;  $\Delta t \approx \frac{1}{\omega}$ ,  $\omega$  – угловая скорость вращения колеса.

Проведем несложные преобразования. Обозначим через  $a$  расстояние от оси колеса до уровня воды, через  $l$  – длину лопасти и положим

жим  $k_a = \frac{a}{l}$ . Легко получить, что

$$l_{\text{смоч}} = l - \frac{a}{\sin \alpha}; \quad l_* = \frac{a}{2 \sin \alpha} + \frac{l}{2}.$$

Тогда указанные ранее моменты можно рассчитать по формулам при  $\alpha \geq \arcsin k_a$ :

$$M_1 = k_{M_1} \left( \sin \alpha - \frac{k_a^2}{\sin \alpha} \right);$$

$$M_2 = k_{M_1} \left( \sin \alpha - \frac{k_a^2}{\sin^2 \alpha} \right) (1 - \sin \alpha),$$

где  $k_{M_1} = \frac{\rho b \omega^2 l^4}{4}$ ;  $k_{M_2} = k_8 \rho \frac{b^2 \omega^2 l^3}{2}$ . Положим

$$k_0 = \frac{k_{M_2}}{k_{M_1}} = \frac{2k_8 b}{l}.$$

На рис. 1...4 приведены графики относительных значений моментов  $\frac{M_1}{k_{M_1}}$  (обозначен цифрой 1) и  $\frac{M_2}{k_{M_1}}$  (2) в зависимости от изменения угла  $\alpha$ . При расчетах данных для рис. 1

брались значения коэффициентов  $k_a = 0,05$  и  $k_0 = 0,4$ , для рис. 2 –  $k_a = 0,05$  и  $k_0 = 0,8$ , для рис. 3 –  $k_a = 0,15$  и  $k_0 = 0,4$ , для рис. 4 –  $k_a = 0,15$  и  $k_0 = 0,8$ .

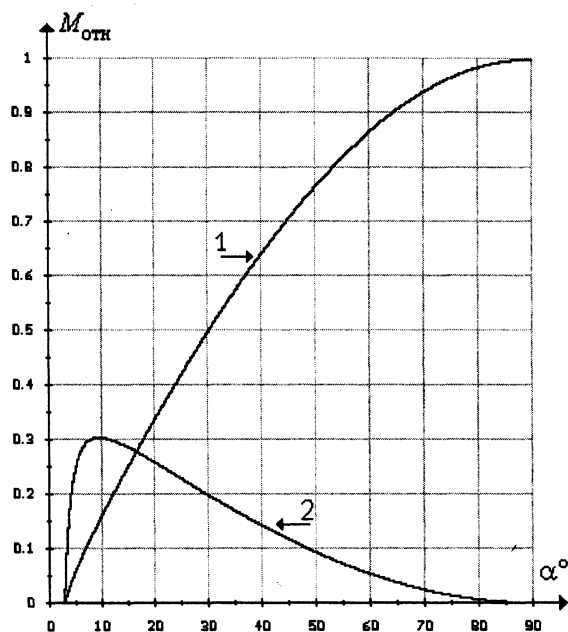


Рис. 1

Анализ расчетов показывает, что, варьируя параметры лопасного колеса – расстояние от оси вращения до уровня воды, соотношение длины лопасти и ее ширины, можно конструктивно влиять на потери энергии в указанном выше секторе вращения.

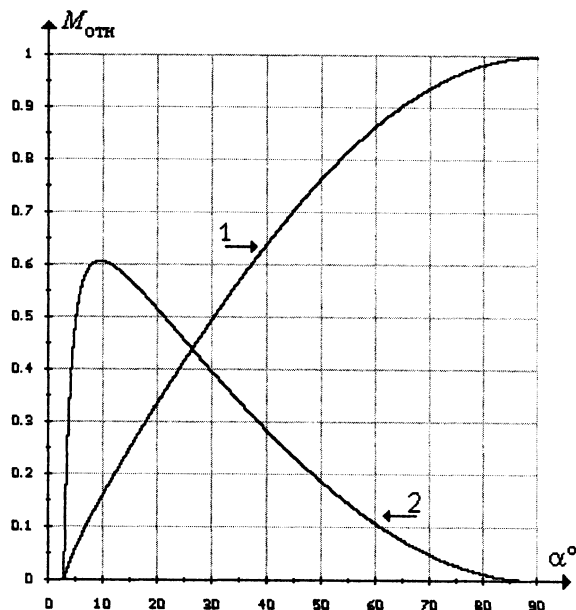


Рис. 2

Аналогично можно рассчитать угол сектора вращения лопасти, где возникает противодействующий ее вращению момент силы вследствие подъема воды при входе лопасти из потока воды.

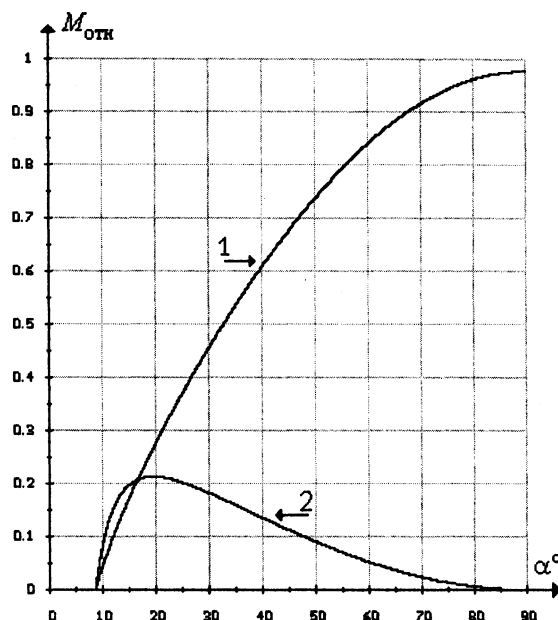


Рис. 3

Для прохождения лопастью названных секторов вращения с минимальными потерями энергии предлагается специальная конструкция

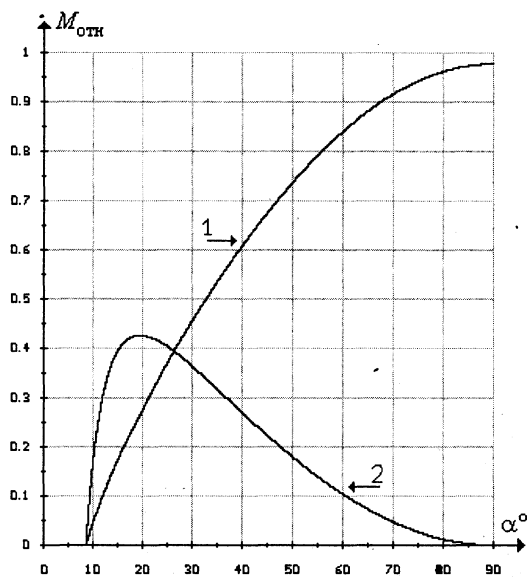


Рис. 4

лопасти, которая не является пластиной, а состоит из лопаток, установленных внутри лопасти на осях с возможностью поворота на угол  $90^\circ$  для раскрытия и закрытия площади лопасти в необходимый промежуток времени. В этом случае лопасть входит в поток воды безударно, так как направлены ребрами к поверхности во-

ды, затем в рассчитанном секторе вращения они поворачиваются на угол  $90^\circ$  и закрывают площадь лопасти в конце сектора. При дальнейшем вращении лопасти лопатки опять проворачиваются в противоположном направлении на угол  $90^\circ$  в рассчитанном секторе вращения и раскрывают площадь лопасти при выходе из потока воды.

Количество лопаток кратно двум, расположенные рядом они имеют разнонаправленные моменты вращения, поэтому для их поворота расходуется сравнительно мало энергии.

Разработана конструкторская документация и изготовлена модель низконапорной гидротурбины, на которой проводятся натурные испытания в гидравлическом лотке БНТУ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. 2169288 РФ. Установка для использования энергии гидравлического потока / В. П. Локтионов. – Оpubл. 20.06.2001 // Бюл. – № 17.
2. Пат. 2148184 РФ. Гидроэлектростанция на потоке / А. А. Ломанов. – Оpubл. 27.04.2000 // Бюл. – № 12.
3. Пат. 27449 Украины. Гидродвигатель / С. П. Филипчук. – Оpubл. 15.09.2000.