

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СВОБОДНОПОТОЧНЫХ МИКРОГИДРОЭНЕРГОСТАНЦИЙ

Г.В.Трещалов

Аннотация: В статье приводятся дополнительные разъяснения по опубликованным ранее материалам по применению гидродинамического эффекта, возникающего в безнапорном потоке жидкости при его ускорении и переходе режима потока через критическое состояние.

Ключевые слова: энергия, мощность, турбина, свободнопоточный, поток, спокойный, бурный, глубина, критическая, гидродинамический, эффект, обратная связь, гидравлика, число Рейнольдса, число Фруда, критерии гидродинамического подобия, гидравлический прыжок

Ранее была опубликована серия работ [1-10], которые затрагивают вопросы гидродинамики, в частности гидродинамические эффекты, возникающие при функционировании свободнопоточных гидротурбин. Эти материалы описывают весьма специфические особенности поведения безнапорных потоков жидкости при функционировании свободнопоточных турбин особой конструкции. Также в номере №9-2013 журнала «Гидротехническое строительство» была опубликована статья с описанием преимуществ этого метода и некоторыми вариантами его применения [1].

Напомним, что в материалах [1-8] были аналитически выведены расчётные формулы полной мощности свободнопоточной гидротурбины - (1) и (2)

$$E = \rho * L * H_1 * V_1 * [(g * H_1 * (1 - V_1 / V_2) + (V_1^2 - V_2^2) / 2)] \quad (1)$$

$$E = \rho * L * (H_1^2 * V_1 * g + H_1 * \frac{V_1^3}{2} - \frac{3}{2} * \sqrt[3]{(H_1 * V_1)^5 * g^2}) \quad (2)$$

где E – энергия отбираемая турбиной у потока в единицу времени, L – погонная ширина турбины поперёк потока, H_1 – эффективная глубина потока на входе в турбину, V_1 – скорость входящего в турбину потока, V_2 – скорость выходящего потока, ρ – плотность воды, g – ускорение силы тяжести

Эти формулы выведены безотносительно к конкретной конструкции турбины, что неоднократно подчёркивалось в предыдущих материалах [1-4]. Таким образом, на основе этих гидродинамических закономерностей возможно создание гидротурбин различной конструкции. Один из вариантов конструкции свободнопоточной гидротурбины показан на рис. 1 [10]. Некоторые другие варианты описаны в [17].

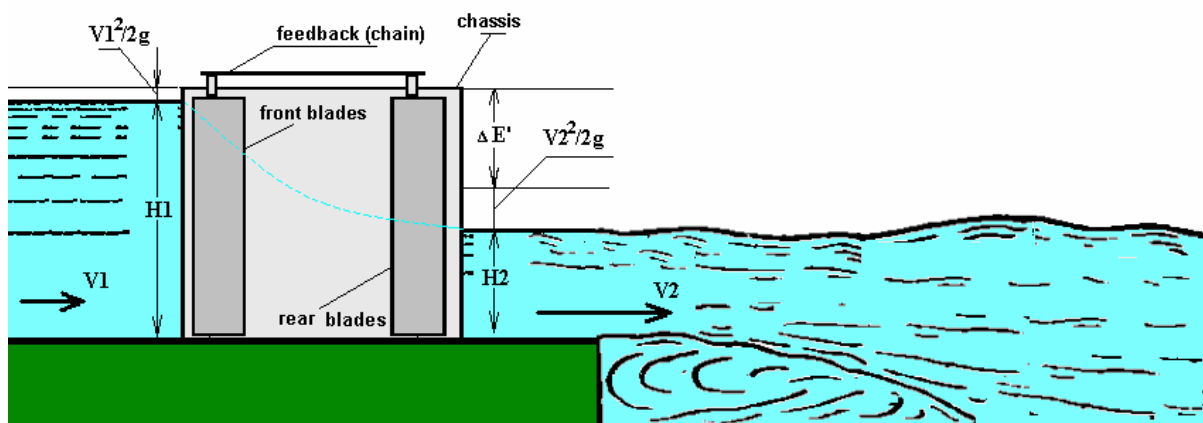


Рис. 1 Один из вариантов турбины в потоке

Все расчёты в материалах [1-8] сделаны на основе уравнения неразрывности потока (закона сохранения массы) и уравнения Бернулли (интеграла Бернулли) - закона сохранения механической энергии для свободного безнапорного потока жидкости.

Необходимо отметить, что в низкоскоростных спокойных потоках, с числом Фруда существенно меньшим единицы, потенциальная составляющая энергии потока доминирует и существенно превышает кинетическую составляющую энергии этого потока, что наглядно видно на диаграмме (рис. 1). То есть, потенциальный напор в таких потоках значительно больше скоростного (динамического) напора.

Интеграл Бернулли является одним из выражений закона сохранения энергии в гидродинамике и, согласно ему, простые выкладки по расчёту КПД (КИЭВ) турбины, отнесенного к полной входной мощности потока, показывают, что он при всех обстоятельствах не превышает 50%.

Простой подстановкой значений в расчётные формулы (в частности, в уравнение Бернулли) можно получить, что поток воды глубиной 1 м и скоростью течения 1м/с обладает суммарной мощностью 10.3 кВт (0.5 кВт – кинетическая составляющая и 9.8 кВт – потенциальная составляющая). Максимальная же выходная мощность турбины микро ГЭС при таких параметрах потока согласно формулам (2) и (3) составляет не более 3.4 кВт, и, следовательно, КИЭВ (КПД) турбины равен 33%. Несмотря на это, он выгодно отличается от типичных для традиционных свободнопоточных турбин значений этого параметра равных не более 15%.

Это хорошо видно на диаграмме 1. Традиционные свободнопоточные турбины способны получить от потока воды лишь часть кинетической составляющей энергии потока.

А точнее, в оптимальном случае с учётом Betz limit, не более 59% этой энергии. На диаграмме видно, что это едва заметная часть от $V_1^2/2g$. В тоже время турбины новой конструкции способны в этих условиях получить мощность равную ΔE .

Интересная интерпретация формул, приведённых выше, была выведена позднее другим автором и опубликована в серии статей электронного научного архива Корнельского Университета [11].

$$E = \rho * L * V_1 * g * H_1^2 \left(1 + \frac{Fr}{2} - \frac{3}{2} \sqrt[3]{Fr}\right) \quad (3)$$

где Fr – число Фруда входящего в турбину потока

Эта формула (3) была выведена способом, отличным от представленного в [1-8] (формула (6) в работе [11]). Разница состоит лишь в том, что некоторые слагаемые формулы (2) представлены в формуле (3) через число Фруда.

Следует отметить, что эти формулы (2) и (3) являются универсальными для расчёта мощности гидротурбин любого типа по условию оптимизации потока в нижнем бьефе (на выходе турбины) - напорных или свободнопоточных турбин и при любых числах Фруда входящего потока - меньших или больших единицы. Все имеющиеся в гидроэнергетике формулы для расчёта оптимальной выходной мощности любых гидротурбин, в конечном счёте, могут быть получены из них.

В частности, известна формула для расчёта мощности напорных гидротурбин, приведённая в любом учебнике по гидравлике и гидроэнергетике [12,13,14]

$$N = g * \rho * Q * H * \eta \quad (4)$$

где N – мощность турбины, Q – полный расход воды через турбину, H – напор турбины брутто, ρ – плотность воды, g – ускорение силы тяжести, η – полный КПД турбины,

Эта формула легко может быть получена из (3) с учётом того, что число Фруда в верхнем бьефе напорных ГЭС весьма мало и им можно пренебречь. Тогда в уравнении (3) член в скобках

становится равным единице и, с учётом того, что произведение $L \cdot V \cdot H$ в данном случае является полным расходом Q , проходящим через сечение створа ГЭС, из (3) получаем (4).

Следует отметить, что в материалах [1-8] пока не отражён весьма интересный аспект, который является целью наших дальнейших исследований. Это детальное изучение роли гидравлического прыжка за турбиной и диссипации энергии в нём. Необходимость этих исследований подчеркнута также и в работе [11]. Особый интерес представляет тот факт, что такой гидропрыжок, хотя уже и рассматривался в наших материалах, но подробно пока не изучен ни теоретически, ни экспериментально. Речь идёт о закономерностях гидравлического прыжка, полученных из уравнения количества движения в потоке, в котором отсутствует активное устройство вроде турбины [12, С.281]. Однако турбина изменяет условия течения потока, и параметры возникновения вальца гидропрыжка такого типа уже не соответствуют условиям, при которых были получены расчётные формулы, так что в данном случае эти формулы уже не отражают полной картины процессов при расчёте гидравлического прыжка такого типа. Поэтому в этом случае традиционные формулы неприменимы для его расчёта и требуют корректировок. Исследования в этом направлении представляются весьма перспективными [16].

Далее приведём более полную энергетическую диаграмму, построенную по формуле (1).

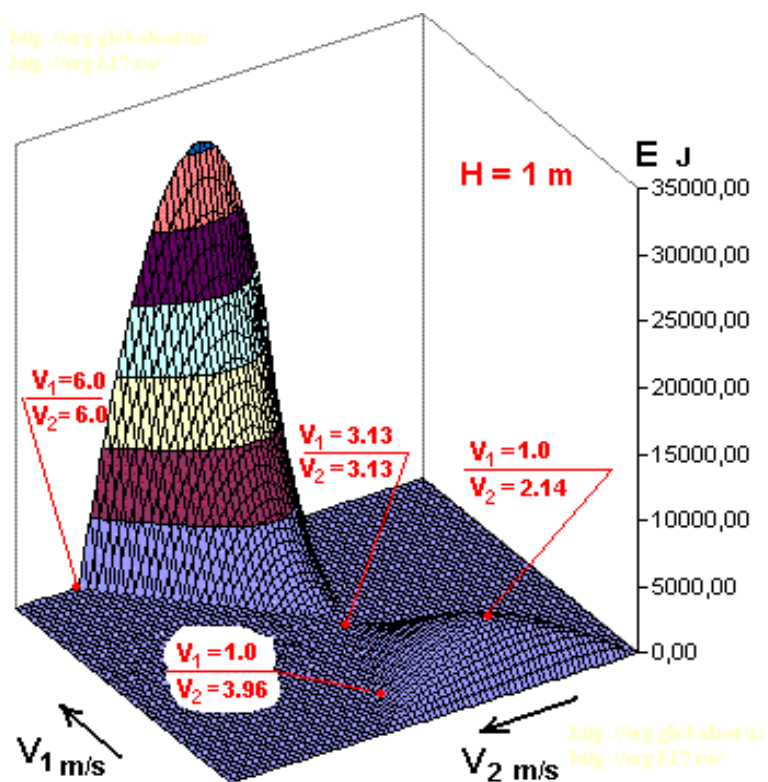


Рис 2. Энергетическая диаграмма в зависимости от скоростей входящего и выходящего потоков, при эффективной глубине входящего потока равной 1м.

На этой диаграмме более чётко видно, что именно собой представляет обсуждаемый гидродинамический эффект усиления мощности. Это ярко выраженный пик мощности в точке, определённой скоростями входящего/выходящего потоков - 1.0/2.14.

В этом режиме турбина выдаёт максимальную мощность, соответствующую, как указывалось выше, 3.4 кВт при полной мощности потока 10.3 кВт.

В точке 1.0/2.14 возникает оптимальный режим по скорости и глубине потока на выходе и при этом все параметры выходного потока равны критическим – критическая глубина и скорость потока.

Если увеличивать или уменьшать скорость на выходе, то режим работы турбины выходит из оптимального и в граничных точках мощность турбины становится равной нулю. Это режимы холостого хода турбины.

У данной турбины имеются два режима холостого хода - в точке 1.0/3.96 и в точке 1.0/1.0 (эту точку не видно - она расположена за пиком диаграммы).

Режим 1.0/1.0 - это самый тривиальный режим, лишь показывающий, что поток, входящий в турбину, не изменяет своих параметров и разница энергий входящего и выходящего потоков равна нулю и, следовательно, турбина работает на холостом ходу.

А режим 1.0/3.96 показывает равенство энергий входящего и выходящего потоков при, так называемых, «сопряжённых глубинах», когда недостающий в выходном потоке относительно входного потенциальный напор компенсируется преобладающим динамическим напором. Но, при этом, турбина также не отнимает у потока энергию, лишь переводя поток из докритического состояния в сверхкритическое с сохранением полной мощности потока, равной мощности входящего.

Точка 3.13/3.13 - одна из "ключевых" - это точка раздела режимов.

В этой точке, кроме того, что и входящий и выходящий потоки будут критическими (для прямоугольного сечения потока число Фруда = 1), но далее режим потока уже переходит в другое качество с более высокой кинетичностью потока, то есть в бурное (сверхкритическое) состояние. После этой точки гидродинамический эффект усиления мощности возникать не может при любых сочетаниях скоростей и глубин - он проявляется только при докритическом состоянии входного потока (для прямоугольного сечения число Фруда < 1)

Примечание:

формулы (1), (2) и (3), а также диаграмма на рис. 2, справедливы для потоков прямоугольного сечения, для которых критическое число Фруда = 1.

Список литературы

1. Трещалов Г.В. Применение свободнопоточных гидравлических турбин и возможности повышения их энергоэффективности // Гидротехническое строительство. 2013 г. № 9. С. 36 - 39.
<http://elibrary.ru/item.asp?id=20413229> http://erg.ucoz.org/pub/info/Usage_Effect_ru.pdf
2. Трещалов Г.В., Гловацкий О.Я. Карабаев Р.Э., Насырова Н.Р. МикрогЭС на основе высокоэффективных свободнопоточных гидротурбин // Ташкент: САНИИРИ, материалы республиканской научно-практической конференции "Актуальные проблемы водного хозяйства и мелиорации орошаемых земель". 2011. С. 298-301.
3. Treshchalov G.V. A highly efficient method for deriving energy from a free-flow liquid on the basis of the specific hydrodynamic effect // International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology. ISJAEE. 2010. No 12. P. 23-29.
<http://elibrary.ru/item.asp?id=18191852> http://erg.ucoz.org/pub/info/Hydrodynamic_Effect_ru.pdf
4. Трещалов Г.В. Анализ возможности натурального моделирования режимов работы гидравлической турбины, использующей гидродинамический эффект усиления мощности" // Альтернативная энергетика и экология. 2012. № 11. С.37-40.
<http://elibrary.ru/item.asp?id=18191851> http://erg.ucoz.org/pub/info/Modelling_Effect_ru.pdf
5. Гловацкий О.Я., Трещалов Г.В. Исследование гидродинамического эффекта извлечения энергии из безнапорного потока жидкости // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. Специальный выпуск. 2011. С. 109-113.

6. Трещалов Г.В., Федюк Р.С. Энергетический анализ гидродинамического эффекта Трещалова // Вологодские чтения: материалы науч. конф. Владивосток, 2011. Изд. дом ДВФУ, 2012. С. 162-164. <http://elibrary.ru/item.asp?id=18166093>
7. Трещалов Г.В. Высокоэффективный способ извлечения энергии из безнапорного потока текущей жидкости на основе специфического гидродинамического эффекта // сборник 6-й Международной научно-практической конференции Иркутского Государственного Технического Университета. 2009 г.
8. Treshchalov G.V., Mukolyants A.A., Djumanov A.A. Application of the specific hydraulic effect in free flow liquid for the energy purposes // Proceedings of International Scientific and Practical Conference "Innovation - 2011". Tashkent. 2011 P.152-155.
9. Липкин В.И., Богомбаев Э.С. Микрогидроэлектростанции: пособие по применению // Программа Развития ООН. Бишкек. 2007. С. 33.
10. Ленев Н.И. Бесплотинные ГЭС нового поколения на основе гидроэнергоблока // Альтернативная энергетика и экология. 2005. № 3. С. 76-78.
11. Igor Sokolov. The energy conservation law in hydrodynamics vs the pseudo-law of alternative energy. Comment on "Alternative energy vs pseudoscience" and the papers cited and not cited therein (in Russian) // <http://arxiv.org/1312.5780>
12. Агроскин И.И., Дмитриев Г.Т., Пикалов Ф.И. Гидравлика // Государственное энергетическое издательство, 1954.
13. Чугаев Р.Р. «Гидравлика» // «Энергоиздат» 1982 г
14. Штеренлихт Д.В. Гидравлика // Энергоатомиздат. 1984. С. 640.
15. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика. М., Наука, 1986, 736 с.
16. В.М.Лятхер, А.М. Прудовский Гидравлическое моделирование // Москва Энергоатомиздат, 1984 (393 с.)
17. Treshchalov G. V. Verfahren Zur Gewinnung Von Energie Aus Der Strömung Eines Fliessenden Mediums EP2019202 WIPO WO/2007/131246