

В № 11 за 2012 год журнала «Альтернативная энергетика и экология» была опубликована статья Г.В. Трещалова "Анализ возможности натурального моделирования режимов работы гидравлической турбины, использующей гидродинамический эффект усиления мощности" с многообещающей, на первый взгляд, идеей. Речь идет об открытии нового гидродинамического эффекта, который в англоязычных публикациях автора называется Treshchalov's effect. Следует впрочем заметить, что такие публикации размещены на интернет-сайтах, а не в научных журналах. Для осуществления и применения своего эффекта автор предлагает конструкцию двухколесной гидротурбины, которая якобы позволяет увеличить отбор полезной энергии из безнапорного потока с заданной скоростью и глубиной. Его идея состоит в следующем.

Пусть в канале находится водяное колесо, и вода течет слева — направо. Добавим второе водяное колесо, которое находится правее и связано с первым передачей, повышающей частоту вращения. Тогда правое колесо крутится быстрее левого, за счет чего ускоряется поток. Поскольку сечение канала остается неизменным, при возрастании скорости потока его уровень должен понизиться. Так возникает скачок гидростатического давления, который, по замыслу автора, становится дополнительным источником полезной энергии. Автор утверждает, что происходит отбор дополнительной потенциальной энергии из воды, и в этом заключается новый гидродинамический эффект. Он получает следующую основную формулу:

$$E = \rho L \left(H_1^2 V_1 g + H_1 \frac{V_1^3}{2} - \frac{3}{2} \sqrt[3]{(H_1 V_1)^5 g^2} \right) \quad (1)$$

где L - эффективная ширина потока, H_1 и V_1 - его глубина и скорость при подходе к левому колесу, ρ - плотность жидкости и E - величина извлеченной из потока энергии за 1 секунду.

Нетрудно понять, что данная идея сродни *perpetuum mobile*. Автор считает возможным извлечь дополнительную энергию из потока воды, используя для этого только энергию самого потока. Видимо он полагает, что потенциальная энергия "растворена" в воде и ее можно извлечь подобно тому, как извлекается тепловая энергия из топлива. Однако потенциальная энергия не принадлежит самой воде, а является энергией гравитационного взаимодействия между водой и нашей планетой. Это - энергия системы "вода + Земля". В качестве ее нулевого уровня можно выбрать $H/2$, где H - средневзвешенный уровень в канале вблизи турбины при выключенной передаче, т.е., когда правое колесо свободно вращается в потоке:

$$H = \frac{\int \rho(x) H(x) dV(x)}{\int \rho(x) dV(x)}$$

Здесь $dV(x)$ - это объем жидкости между двумя бесконечно-близкими сечениями канала в точке с абсциссой x , его средняя плотность равна $\rho(x)$. Тогда потенциальная энергия равна нулю, и чтобы извлечь ее, необходимо эту энергию добавить. Следовательно, над водой должна быть совершена работа A , в точности равная приращению потенциальной энергии ΔW . Которая одновременно извлекается из воды в количестве $\Delta W > 0$!

Обсудим это подробнее. Пусть система "вода + Земля" содержит воду, заключенную между двумя сечениями канала вблизи гидротурбины – слева и справа от нее. Эта вода течет, однако ее масса и фигура не меняются. Система обменивается с потоком массой и

кинетической энергией: получает слева и отдает направо. При этом часть энергии уходит на вращение турбины, а передача с первого колеса на второе считается отключенной. С учетом выбранного нулевого уровня, потенциальная энергия в системе формально равна нулю. Она и фактически отсутствует, поскольку система "вода + Земля" не может совершить дополнительной работы за счет гравитационного взаимодействия. Работа, которая могла бы совершаться силами гравитации, уже совершается в процессе разгона воды в данной части канала. В стационарном режиме, который мы рассматриваем, сверх этого никакая работа совершаться не может!

Поэтому для того, чтобы из данной системы могла быть извлечена дополнительная потенциальная энергия ΔW , необходимо эту энергию в систему добавить. Добавить ее можно только одним способом: совершить работу $A = \Delta W$ против сил гравитации. Именно эту работу совершает правое колесо, когда подключено к передаче от левого. Работа A производится за счет энергии $E = \Delta W$, полученной от левого колеса. В результате кинетическая энергия потока на выходе из правого колеса увеличивается на $E = A = \Delta W$. В свою очередь левое колесо забирает эту энергию из потока.

Для иллюстрации рассмотрим пример того, как именно потенциальная энергия добавляется в воду, чтобы быть из нее извлеченной. Допустим, что мы ударили по поверхности воды поршнем с площадью S , так что образовался цилиндрический «колодец» с высотой h и площадью основания S . Пусть масса воды в объеме «колодца» равна m . Тогда система приобрела потенциальную энергию $\Delta W = mgh/2$, которая может выделиться в процессе выравнивания уровня воды. В самом деле, пусть в процессе заполнения «колодца» в него входит малый, цилиндрический объем воды dV . Если dS – площадь основания цилиндра dV , которое перпендикулярно направлению движения, то $dV = ldS$ и работа гидростатического давления P в процессе вхождения объема dV в «колодец» равна $dA' = PdS \cdot l = PdV$. При этом P равномерно возрастает по глубине «колодца» от нуля до ρgh , и его среднее значение равно $\rho gh/2$. Тогда работа, совершенная в процессе выравнивания уровня воды за счет потенциальной энергии ΔW , будет равна

$$A' = \int dA' = \int PdV = \frac{\rho gh}{2} \int dV = \frac{\rho gh}{2} V = \frac{mgh}{2} = \Delta W$$

Теперь найдем работу A внешней силы при движении поршня в процессе образования водяного «колодца». Она действовала против силы гидростатического давления на основание поршня, которая менялась от нуля до $F = \rho ghS = mg$. Поршень при этом сдвинулся вниз на h , поэтому работа внешней силы

$$A = \frac{F}{2} h = \frac{mgh}{2} = A' = \Delta W .$$

Итак, дополнительно извлеченная потенциальная энергия ΔW равна работе A , которая при этом была затрачена. По существу здесь была использована та же идея, которая положена в основу "Treshchalov's effect".

Таким образом, без учета потерь при передаче вращения, извлеченная потенциальная энергия ΔW равна энергии E , которая затрачена на ускорение воды правым колесом. Энергобаланс не меняется: вся дополнительная энергия $\Delta W = E$, извлеченная из потока, в него же и вернулась. Поэтому полезная нагрузка дополнительной энергии не получает.

Вывод: двухколесная гидротурбина Г.В. Трещалова не имеет практического смысла, а его гидродинамический эффект является фикцией. Будь это иначе, мы смогли бы извлекать из воды дармовую энергию, ударяя по ее поверхности палкой.

Осталось понять, как именно автор придумал своей идее математическое выражение (1). Без лишних подробностей, затемняющих суть дела, эта формула была выведена следующим образом (в других обозначениях).

Пусть V и H - скорость и уровень потока перед левым колесом, а xV - скорость на выходе из-под правого колеса, где $x > 1$. Тогда уровень этого потока H/x . Уменьшение $(-\Delta W)$ потенциальной энергии воды $= Mg(H - H/x)/2$, а увеличение ΔK ее кинетической энергии $= M(V^2x^2 - V^2)/2$. Суть "нового гидродинамического эффекта" заключается в том, что из-за падения уровня на величину $H - H/x$ высвобождается потенциальная энергия воды, которая перекрывает потери энергии на ее разгон от V до xV . Поэтому должно иметь место $-\Delta W > \Delta K$, что эквивалентно

$$gH(1 - 1/x) > V^2(x^2 - 1) \quad (2)$$

Легко проверить, что неравенство может иметь решение $x > 1$ лишь в том случае, когда число Фруда $Fr = V^2/gH$ меньше, чем $1/2$.

По данному поводу автор ошибочно утверждает, что должно иметь место $Fr < 1$. Это началось с ошибки в уравнении

$$MgH_1 + \frac{MV_1^2}{2} = MgH_2 + \frac{MV_2^2}{2} + E \quad (3)$$

При вычислении потенциальной энергии уровень H следует делить пополам! Тогда основная формула (1) будет выглядеть иначе (неважно как), а неравенство (2) имеет решение $x > 1$ только при $Fr < 1/2$. При численных расчетах в статье это условие выполняется с большим запасом ($Fr = 0.102$). Однако результаты вычислений ошибочны!

В этом легко убедиться, взяв данные из первого столбца таблицы на стр. 39. Прямой расчет уменьшения полной энергии воды, протекающей за 1 секунду через погонный метр сечения, дает 824.56 Дж, а не 3 430 Дж, как утверждает автор. Действительно:

$$Mg \frac{H_1}{2} + \frac{MV_1^2}{2} - Mg \frac{H_2}{2} - \frac{MV_2^2}{2} = 1000 \cdot \left(9.81 \cdot \frac{1}{2} + \frac{1^2}{2} - 9.81 \cdot \frac{0.467}{2} - \frac{2.14^2}{2} \right) = 824.56$$

Если $Fr < 1/2$, то величина $gH(1 - 1/x) > V^2(x^2 - 1)$ достигает максимума при $x = (2 \cdot Fr)^{-1/3}$. В силу ошибки, о которой сказано выше, у автора получилось $x = (Fr)^{-1/3}$ (он использует параметр $k = 1/x$). Затем Г.В. Терещалов вычисляет этот максимум и так получает извлеченную из потока энергию E .

Допустим, что мы исправили эту ошибку и уточнили формулу (1). Что она будет выражать? Максимально возможное значение величины $E = -\Delta W - \Delta K$ при условии $Fr < 1/2$? Что соответствует разгону воды с фактором $x = (2 \cdot Fr)^{-1/3}$? Да, это так. Но откуда следует, что вода сможет разогнаться до такой скорости под действием правого колеса? Ответ прост: ниоткуда! Автор не анализировал этот ключевой вопрос. Он просто принял как факт, что требуемая скорость xV достижима, но прямо не написал об этом. Таким образом, у автора нет обоснованного вывода формулы (1). Это естественно, поскольку все результаты и выводы статьи являются ложными.

Испытания модели двухколесной гидротурбины, отмеченные в публикации, также не подтвердили жизнеспособность идеи. С тех пор прошло уже 7 лет, но решающие эксперименты так и не состоялись. Хотя модельная установка, очевидно, не является чем-то сильно сложным и дорогим. Едва ли этому стоит удивляться!

Не будучи специалистом по гидродинамике, позволю себе сделать еще одно замечание, которое характеризует физическую тривиальность теории Г.В. Терещалова. Его необходимость обусловлена тем, что, как мне представляется, рассуждения о числе Фруда и роли буруна в обеспечении "эффекта Терещалова" создают ложное впечатление глубины этой идеи.

Автор произвольно обращается с числом Фруда $Fr = V^2/gH$, которое является лишь параметром подобия для моделирования волнового сопротивления кораблей. Утверждение о том, что при $Fr = 1$ поток в канале переходит из плавного состояния в бурное, вообще говоря, не соответствует действительности. Кроме того равенство $Fr = 1$, играющее важную роль в вычислениях, является следствием ошибки в уравнении (3). Как было показано выше, "критическим" следовало бы считать число $Fr = 1/2$. Это лишний раз подтверждает отсутствие простой связи между значением числа Фруда и состоянием потока, на которую ссылается автор.

С авторским выводом формулы (1) я ознакомился в статье Г.В. Терещалова "Исследование специфического гидродинамического эффекта в свободном безнапорном потоке жидкости", размещенной во многих местах в интернете. Указанная выше ошибка в уравнении (3) имеет место на стр. 7 этой публикации, считая от ее начала.

Мне остается лишь выразить сожаление в связи с тем, что ложная идея широко разрекламирована в интернете и была дважды отмечена сертификатом конкурса "Energy Globe Award", в 2008 и 2010.

Д.Б. Зотьев,

доктор физико-математических наук (01.01.04, мех-мат МГУ),

профессор кафедры физики Волжского филиала МЭИ.