

МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ СВОБОДНОПОТОЧНОЙ МИКРОГЭС С ОРТОГОНАЛЬНОЙ ТУРБИНОЙ И ОПТИМИЗАЦИЯ ЕЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ И МАССВЫХ ПАРАМЕТРОВ

Лепп Э.И.,

Научный руководитель канд. техн. наук, доцент Головин М.П.

Сибирский федеральный университет

Целью данной работы является обеспечение устойчивости свободнопоточной микроГЭС с ортогональной турбиной при минимальных ее массогабаритных характеристиках.

Устойчивость турбины обеспечивается выбором оптимальных геометрических и массовых параметров ее основания. Модель необходима для дальнейших исследований, оптимизации геометрии и повышения технического уровня микроГЭС в целом. Модель позволит оценить параметры микроГЭС и выявить закономерности её геометрических и весовых характеристик. Это позволит снизить стоимость изготовления. Стоит отметить, что модель применима только к определённой топологии микроГЭС, а именно свободнопоточной микроГЭС с ортогональной турбиной.

Объектом моделирования является конструкция микроГЭС (рисунок 1)

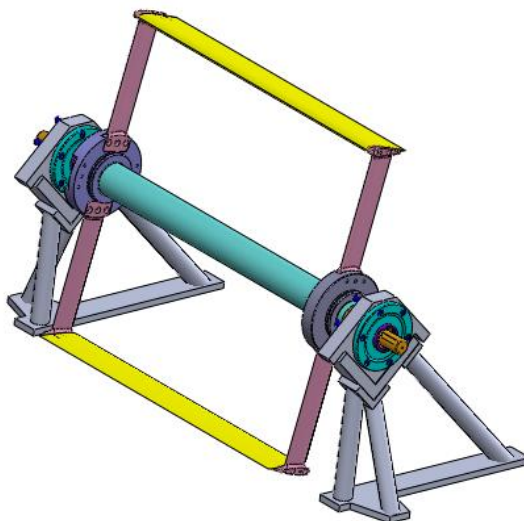


Рисунок 1 - Модель микроГЭС

Приведем отличительные особенности модели, которые необходимы для анализа ее устойчивости: ось вращения турбины горизонтальна; микроГЭС установлена на дне реки.

На микроГЭС действуют: силы тяжести, приведенные к центру масс; напор воды на рабочую зону турбины; крутящий момент от взаимодействия лопасти турбины с набегающим потоком воды. Схема действующих сил на установку приведена на рисунке 2.

На схеме приложены:

- Сила тяжести, вектор которой идет от центра масс микроГЭС G , Н;
- Реакция в опоре R , Н;
- Сила набегающего потока воды, действующая на лопасти турбины F , Н;

В силу наличия плеч у всех нагрузок они создают крутящие моменты, относительно точки опрокидывания, как показано на расчетной схеме (рисунок 2).

Кроме этого отметим, что создаваемая модель учитывает только те силы, которые оказывают существенное влияние на устойчивость микроГЭС. Не учитываются следующие силы:

- Сила набегающего потока, действующая на поверхность балок, генератора, основания;
- Боковые воздействия на микроГЭС со стороны потока от смещения потока от нормали к оси турбины;

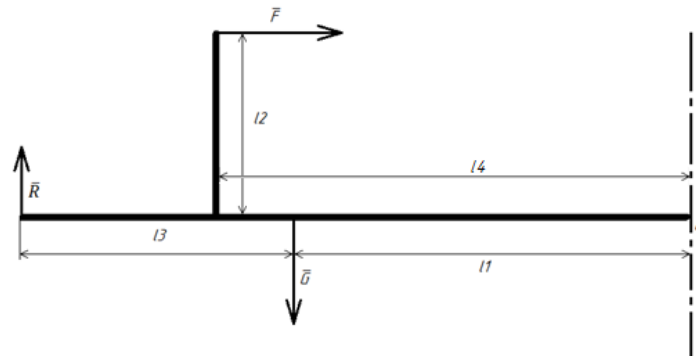


Рисунок 2 – Принципиальная схема микроГЭС и действующие на ее конструкцию нагрузки

Составим уравнения равновесия микроГЭС под действием напора воды, сил тяжести и номинального крутящего момента:

$$R \cdot (l_1 + l_3) + F \cdot l_2 - G \cdot l_1 = 0 \quad (1)$$

С использованием уравнения (1) статического состояния равновесия установки составим уравнение углового движения микроГЭС, описывающего угловое положение в полярной системе координат, с центром в точке O (рисунок 3):

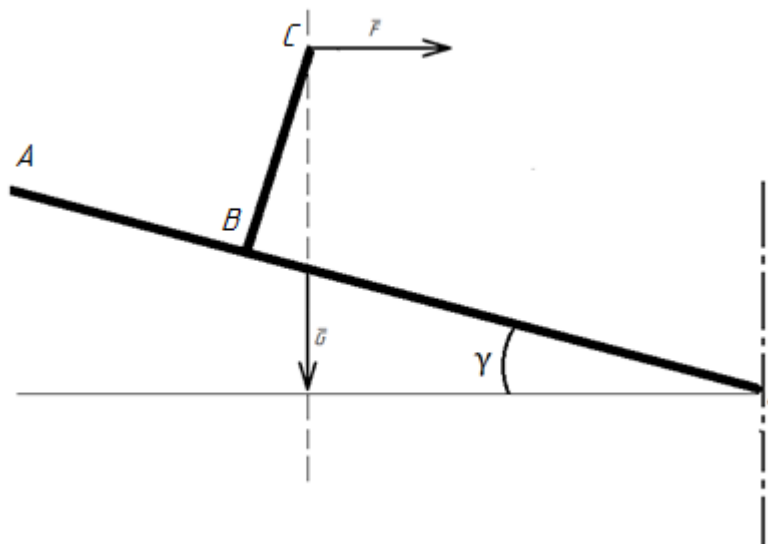


Рисунок 3 - Схема опрокидывания установки микроГЭС

$$\gamma_i = \gamma_{i-1} + \omega_i \cdot \Delta t \quad (2)$$

где γ_{i-1} – угол поворота микроГЭС на предыдущем временном отрезке Δt ;

ω_i – угловая скорость на данном отрезке времени.

Здесь возникает одно условие, при нахождении угловой скорости: угловая скорость будет равняться нулю, если угол перемещения на предыдущем временном отрезке Δt будет меньше либо равен нулю ($\gamma_{i-1} \leq 0$). Физически, это будет выглядеть так, что плита, на которой закреплена установка будет упираться в дно водоема, под своим собственным весом. Так же, в тот момент времени, когда плита будет отклоняться на некоторый угол ($\gamma_{i-1} > 0$) реакция R в опоре А (рисунок 3) будет равна нулю ($R = 0$).

Относительно силы $F(t)$ потока [1], которая действует на лопасти, необходимо отметить, что интерес представляют проекции нормальной и тангенциальной составляющей этой силы на горизонтальную ось. Далее, используя формулу (3) найдем суммарную величину действующей силы потока. С учетом гармонического вида F_x , представим действующую силу в виде первой гармоники функции. На рисунке 4 показаны действующие силы во времени с разным количеством лопастей в турбине.

$$F_{x.сум}(\varphi, k) = \sum_{i=0}^{k-1} F_x(\varphi + i \cdot \frac{2\pi}{k}) \quad (3)$$

Реакция в опоре А в момент времени t :

$$R(\gamma, t) = \frac{F(t) \cdot \cos\left(90 - (\gamma + \arccos \frac{\sqrt{l_2^2 + l_4^2 + l_4^2 - l_2^2}}{2 \cdot \sqrt{l_2^2 + l_4^2} \cdot l_4})\right) \cdot \sqrt{l_2^2 + l_4^2} - G \cdot l_1 \cdot \cos(\gamma)}{(l_1 + l_3)} \quad (7)$$

где $F(t)$ – сила действующая на лопасти турбины[1].

$M_{опр}(\gamma, t)$ – момент от потока воды опрокидывающий турбину:

$$M_{опр}(\gamma, t) = F(t) \cdot \cos\left(90 - (\gamma + \arccos \frac{\sqrt{l_2^2 + l_4^2 + l_4^2 - l_2^2}}{2 \cdot \sqrt{l_2^2 + l_4^2} \cdot l_4})\right) \cdot \sqrt{l_2^2 + l_4^2} \quad (8)$$

$M_{уст}(\gamma)$ – гравитационный момент от веса микроГЭС может быть записан так:

$$M_{уст}(\gamma) = G \cdot l_1 \cdot \cos(\gamma) \quad (9)$$

В результате, составив математическое описание устойчивости микроГЭС и зная как установка ведет себя под действующими на нее нагрузками, можно исследовать её устойчивость, варьируя следующие параметры (см. рисунок 2):

- плечо l_1 , м;
- плечо l_2 , м;
- плечо l_3 , м;
- массу установки m_t , кг.

Используя уравнение равновесия, можно подобрать определенный набор вышеперечисленных параметров, который снизит затраты на производство установки и сохранит ее положение под прикладываемыми нагрузками. Как показала практика [2],

целесообразно стремиться к снижению массы установки (уменьшение объема бетона, заполняющего основание), увеличивая при этом ее габариты (длину плеч l_2 и $l_s = l_1 + l_3$). Это объясняется тем, что при большой массе возникают проблемы с установкой и транспортировкой микроГЭС.

Чтобы установка оставалась в состоянии покоя и не меняла своего положения, достаточно того, значение реакции в опоре (рисунок 2) не меняло знак. Это главное условие оптимизации микроГЭС.

Был реализован алгоритм поиска оптимального набора параметров. Количество перебираемых элементов не превышало 2^{16} , следовательно, можно позволить самый простой способ перебора [3]. Для сокращения вариантов перебора, каждому параметру был задан диапазон значений и шаг. После вычисления, подставив параметры в уравнения перемещения основания, проанализируем поведение свободнопоточной микроГЭС. Критерием того, удовлетворяют ли выбранные параметры, будет поведение функции угла наклона плиты, угол должен стремиться к нулю.

При заданных начальных параметрах (таблица 1) был реализован расчет с последующей оптимизацией. Результатом оптимизации будет являться ряд графиков с зависимости значения реакции опоры от каждого из входных параметров.

Таблица 1 - Начальные параметры

Плечо l_1 , м	Плечо l_2 , м	Плечо $l_s(l_1 + l_3)$, м	Масса установки m_t , кг	Сила F , Н
$0,3... l_1 + l_3 - 0,05$	0,9...0,5	1,5... $l_1 + 0,05$	500...100	600

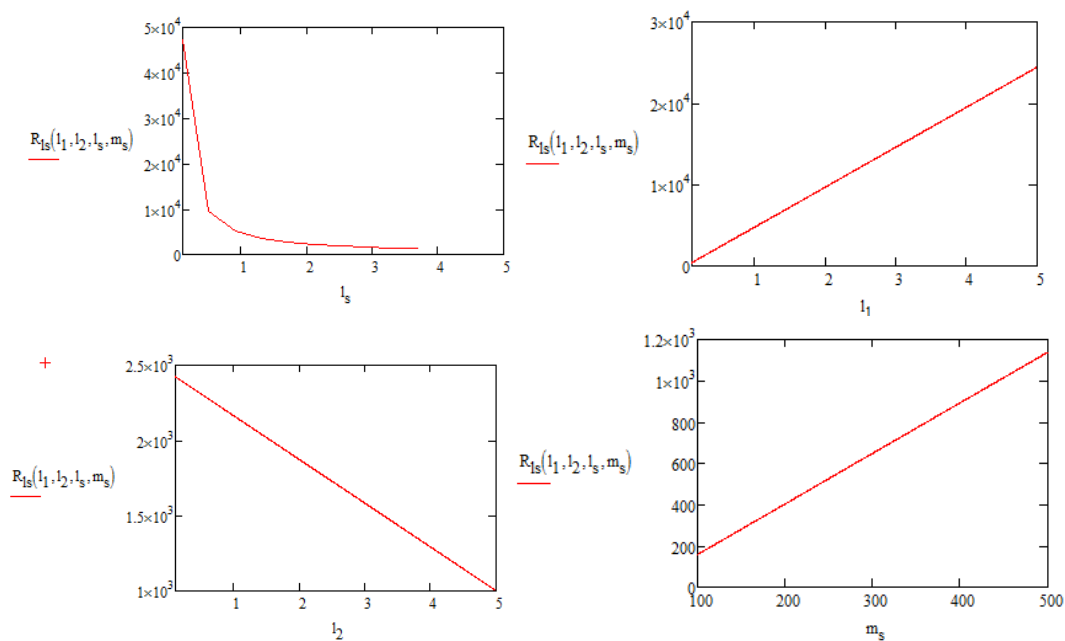


Рисунок 4 - Графики зависимостей реакции в опоре R от входных параметров

Таблица 1 - Результат оптимизации

Плечо l_1 , м	Плечо l_2 , м	Плечо $l_1 + l_3$, м	массу установки m_t , кг
0,9	0,5	1,2	200

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Головин, М. П. Свободнопоточные микроГЭС как эффективный вариант энергоснабжения удаленных территорий / М. П. Головин, А. Л. Встовский, Л.Н. Головина, К. Х. Федий, Н. А. Колбасина, В. Д. Мокеев // Научно-технический журнал КГТУ. – Красноярск: ИПЦ КГТУ. – С. 83 – 96.
2. Головин. М. П. Проектирование, изготовление, сертификация, испытания установочной партии свободнопоточной микроГЭС: Головин. М. П.// Технологии новых и возобновляемых источников энергии. - Красноярск: НИЧ СФУ. С. 95 - 102.
3. Гильден Я., Джексон Д. Перечислительная комбинаторика: Пер. с англ./Под ред. В. Е. Тараканова. - М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990.-504 с.- ISBN 5-02-013967-Х.