УДК 532.1/5(075,8)

ВПЛИВ КОНСТРУКЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ ТУРБІН ДЛЯ МАЛИХ ГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ НА ПРОЦЕС ПЕРЕТВОРЕННЯ ЕНЕРГІЇ ПОТОКУ ВОДИ В ЕЛЕКТРИЧНУ ЕНЕРГІЮ

д. т. н. проф., Строй А. Ф., д. т. н. проф., Пиотровски Е. З., магістр Стажомска М.

Технологічний Університет «Свентокшиська Політехніка», м. Кельце, Польща

Основним технічним параметром турбін для малих (безнапірних) гідроелектростанцій є робота, яку можна одержати при перетворенні енергії потоку води в електричну енергію. Найбільш відомою конструкцією, тобто класичним елементом турбіни, є колесо з лопатками, що обертається навколо своєї осі внаслідок дії потоку воду.

В літературних джерелах, присвячених використанню енергії малих річок, наприклад в [1, 2, 3], практично відсутні результати досліджень, що стосуються математичного моделювання процесів перетворення енергії потоку води в електричну енергію. І, як наслідок, відсутні достовірні рівняння, за допомогою яких можна визначити як змінюється робота в залежності від конструктивних параметрів турбіни. З іншої сторони досить очевидно, що робота, одержана при обертанні турбіни, буде залежати від розмірів колеса, його розташування, форми та розмірів лопаток, швидкості потоку води, та інших факторів.

Розглянемо як визначити роботу для моделі турбіни. З метою теоретичного вирішення задачі розглянемо найпростіший випадок, коли колесо має одну лопатку. Процес обертання колеса відбувається навколо осі «О» (рис. 1).

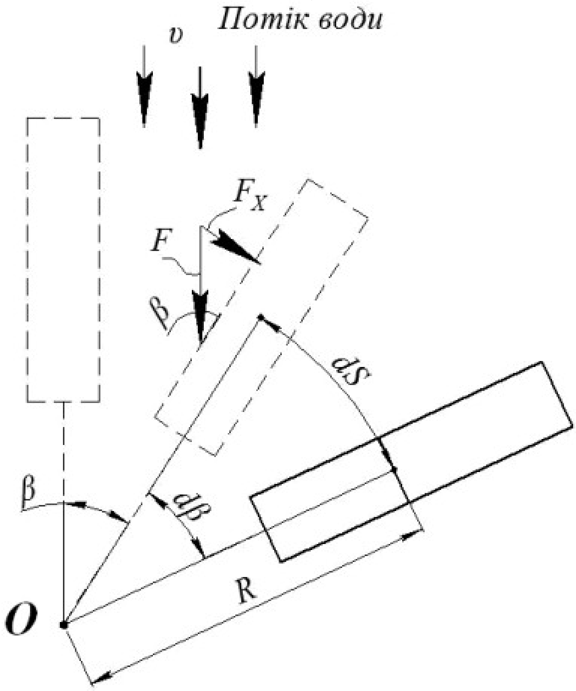

Рис.1 Схема обертання пластини за рахунок дії потоку води.

Вісь обертання розташована перпендикулярно до дзеркала потоку води. Лопатка має форму пластини з розмірами a×b×δ (δ товщина пластини) (рис. 2).

Потік води рухається зі швидкістю ϑ. Внаслідок дії потоку води лопатка обертається. Силу F_X, яка обертає пластину відносно вісі „О”, можна визначити за допомогою рівняння

$$F_X = F \cdot \sin\beta \qquad (1)$$

де F – сила дії потоку води на пластину розташовану перпендикулярно до потоку води (рис.2), [Н];

β – кут між пластиною і силою F (див. рис.1).

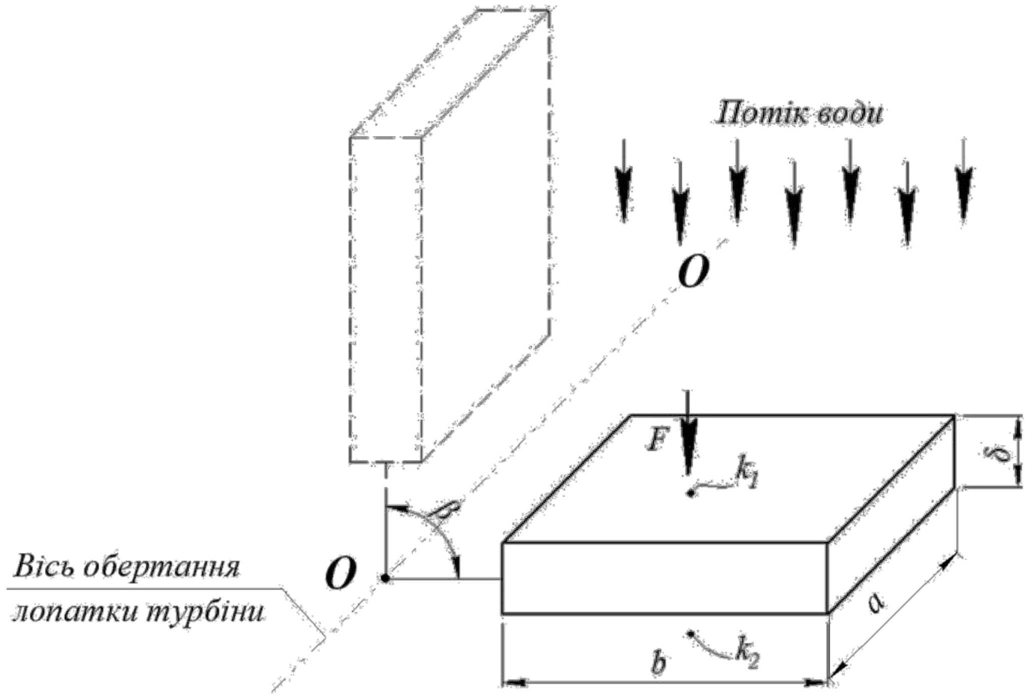

Рис.2 Схема дії потоку води на пластину розташовану перпендикулярно до потоку

При обертанні пластини змінюється кут β і як наслідок змінюється сила F_X. Сила дії потоку води на пластину розташовану перпендикулярно до потоку дорівнює

$$F = (k_1 + k_2) \cdot \frac{\vartheta^2}{2} \rho \cdot (a \times b) \text{ , [Н]} \qquad (2)$$

де k_1, k_2 – гідродинамічні коефіцієнти відповідно зі сторони на яку надходить потік води і із зворотної сторони (див. рис.2);

ϑ – швидкість потоку води, м/с;

ρ – густина води, кг/м^3;

a, b – розміри пластини, м (див. рис.2).

Гідродинамічні коефіцієнти мають повну аналогію з аеродинамічними. Їх визначають на основі експериментальних досліджень. З врахуванням виразу (2) рівняння (1) можна переписати у вигляді

$$F_X = F \cdot \sin\beta = (k_1 + k_2) \cdot \frac{\vartheta^2}{2} \rho \cdot (a \times b) \cdot \sin\beta \qquad (3)$$

Рівняння (3) характеризує той факт що сила дії потоку F_X на пластину змінюється від нуля до максимального значення, в залежності від кута *β*. $F_x=0$ коли кут $\beta=0$ (див. рис.1) і $F_x=F$ коли $\beta = 90^\circ = \frac{\pi}{2}$ (див. рис.2). В останньому випадку сила F_x має максимальне значення.

Визначимо елементарну роботу *dA*, яку виконує потік води по переміщенню пластини, тобто при її обертанні на нескінченно малий кут $d\beta$ (див. рис.1).

$$dA = F_X \cdot dS \text{, Дж} \qquad (4)$$

де *dS* – шлях переміщення центру пластини (див. рис.1), м.

Якщо кут переміщення центра пластини відносно осі „О" дорівнює *π*, тобто 180º, то центр пластини пройде шлях $S=\pi R$ (рис.3), де *R* – радіус, м, тобто відстань від центру пластини до осі „О" (див. рис. 3). Якщо пластина переміститься на кут $d\beta$ (див. рис.3) то шлях переміщення дорівнює

$$dS = \frac{\pi \cdot R}{\pi} d\beta = R d\beta \text{, м} \qquad (5)$$

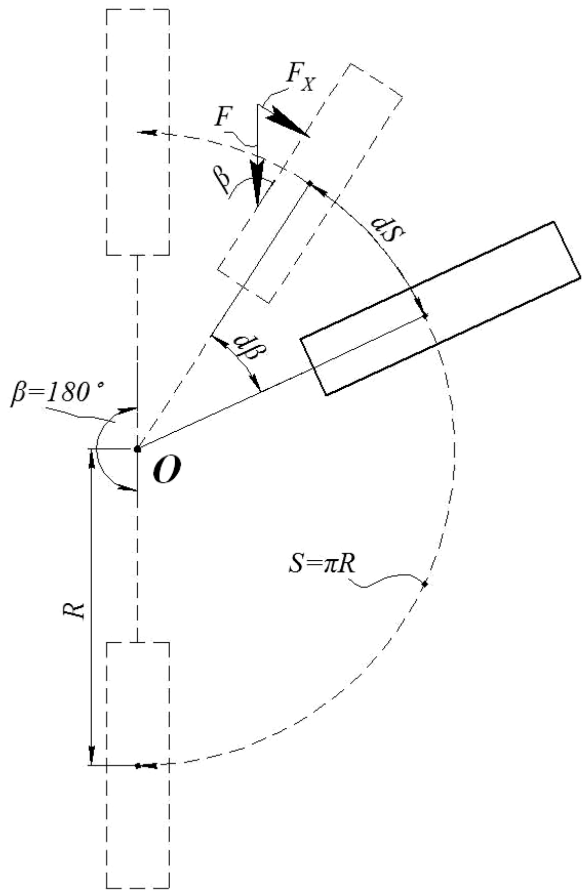

Рис.3 Схема переміщення пластини на $\beta=180^o$

З врахуванням виразу (5), рівняння (4) має вигляд

$$dA = F_X \cdot dS = F_X \cdot \frac{\pi R}{\pi} d\beta = F_X R d\beta \tag{6}$$

Підставимо значення F_x із рівняння (3) в рівняння (6), одержимо

$$dA = (k_1 + k_2) \cdot \frac{\vartheta^2}{2} \rho \cdot (a \times b) \cdot R d\beta \cdot \sin\beta \tag{7}$$

Рівняння (7) є диференційним рівнянням. Невідомою функцією цього рівняння є функція залежності роботи *A* від кута переміщення *β*. За допомогою цього рівняння можна визначити роботу, яку виконає потік води при переміщенні пластини на будь-який кут *β*. Щоб обчислити роботу, проінтегруємо рівняння (7)

$$\int_0^A dA = (k_1 + k_2) \cdot \frac{\vartheta^2}{2} \rho \cdot (a \times b) \cdot R \cdot \int_0^\beta \sin\beta \cdot d\beta \tag{8}$$

Після інтегрування, отримаємо

$$A \Big/ {}_0^A = (k_1 + k_2) \cdot \frac{\vartheta^2}{2} \rho \cdot (a \times b) \cdot R \cdot (-\cos\beta) \Big/ {}_0^\beta \tag{9}$$

Після підстановки границь інтегрування, маємо

$$A = (k_1 + k_2) \cdot \frac{\vartheta^2}{2} \rho \cdot (a \times b) \cdot R \cdot [(-\cos\beta) + 1] \tag{10}$$

Якщо лопатка зробить половину оберту, тобто повернеться так, що кут *β* буде становити *180°*, то робота дорівнює

$$A = (k_1 + k_2) \cdot \frac{\vartheta^2}{2} \rho \cdot (a \times b) \cdot R \cdot [(-(-1)) + 1] \tag{11}$$

або

$$A = (k_1 + k_2) \cdot \frac{\vartheta^2}{2} \rho \cdot (a \times b) \cdot R \cdot 2 \tag{12}$$

Таким чином, рівняння (10) дає можливість визначити роботу при обертанні лопатки навколо своєї осі на будь-який кут *β*. В загальному випадку робота прямо пропорційна сумі гідродинамічних коефіцієнтів, швидкості потоку води в квадраті, розмірам пластини та радіусу *R*, а також густині потоку. При обертанні пластини на кут $\beta=90^o$ робота дорівнює

$$A = (k_1 + k_2) \cdot \frac{\vartheta^2}{2} \rho \cdot (a \times b) \cdot R \tag{13}$$

Одержану роботу, при обертанні лопатки на кут $\beta=180^o$, можна повністю втратити у випадку коли лопатка буде продовжувати обертатись далі і повернеться на *360°*. Тобто, при подальшому обертанні пластини, роботу яку ми одержали при обертанні на кут $\beta=180^o$, так звану корисну роботу (робота яку можна використати для вироблення електричної енергії) буде втрачено на подолання опору потоку води. Тобто, при обертанні лопатки на один оберт, робота, яку ми плануємо одержати, дорівнює нулю. Щоб збільшити корисну роботу, треба зменшити опір потоку води при переміщені лопатки на другу половину оберту. Цього можна досягти за рахунок зміни гідродинамічних коефіцієнтів, розмірів пластини або радіуса *R* (див. рівняння (10)). Таким чином конструктивна зміна лопатки, при обертанні її на другу половину оберту, дасть можливість зменшити роботу по подоланню сил опору потоку і збільшить корисну роботу.

Збільшити корисну роботу можна також коли розташувати вісь навколо якої обертається лопатка паралельно дзеркалу потоку води, тобто так як показано на рис.4.

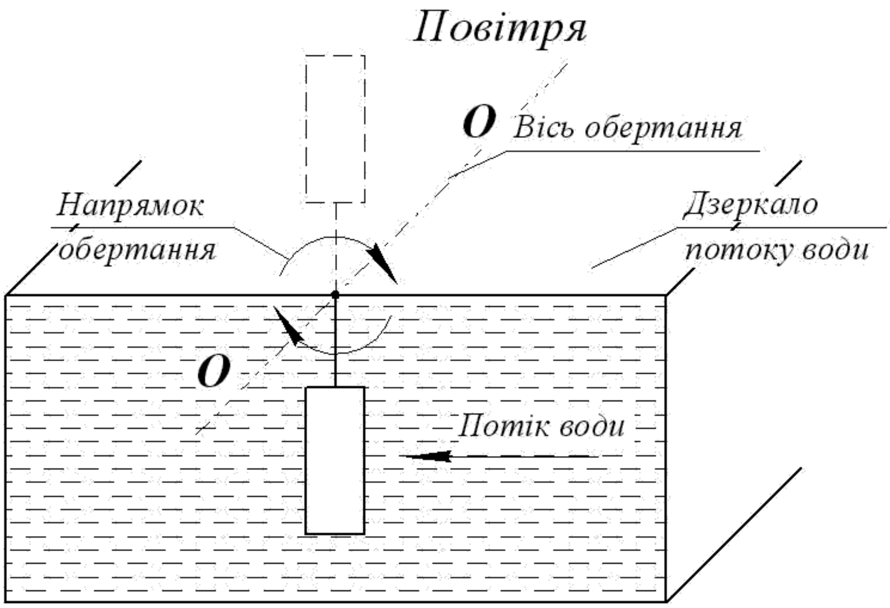

Рис. 4 Схема обертання лопатки

В цьому випадку, друга половина оберту лопатки відбувається в повітрі. А густина повітря практично в тисячу разів менше ніж густина води. Тому опір повітря буде незначним.

ВИСНОВКИ

Таким чином, в результаті математичного моделювання процесу перетворення енергії потоку води в електричну енергію одержано рівняння (10), яке дає можливість в першому наближенні визначити вплив конструкційних параметрів турбіни на корисну роботу.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА:

1. Гофман М. Прогнози розвитку водної енергетики в Європі і Польщі. IV Науково-Технічна Конференція «Мала Енергетика-97» Закопане Костелисько
2. Паска Й, Станішевський А. «Основи електроенергетики. Методи виробітку електричної енергії» Офіціальне Польське Видавництво Варшава 1994
3. Любчинська У, «Прикладна гідравліка» Видавництво Політехніки Свентокшиської Кельце 1996