



УДК 620.9

USE OF TESLA TURBINES IN LIGHTING SYSTEMS OF MULTI-STORY RESIDENTIAL BUILDINGS

ВИКОРИСТАННЯ ТУРБІН ТЕСЛА В СИСТЕМАХ ОСВІТЛЕННЯ БАГАТОПОВЕРХОВИХ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ

Vashchysak I. R. / Ващишак І.Р.

c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0002-9078-6726

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Анотація. На основі реалізованих проєктів щодо застосування систем піко гідро та турбін Тесла обґрунтовано вибір пікогідроенергетичної системи з використанням турбіни Тесла для застосування в системах освітлення багатоповерхових будинків.

Проведено дослідження енергетичної ефективності турбіни Тесла різних конструкцій у системах піко гідро. Встановлено вплив геометрії наконечника диска на характеристики потоку турбін Тесла. Для багатоповерхового житлового будинку визначено потребу в електроенергії для забезпечення системи освітлення загальної території. Проаналізовано систему водовідведення будинків та визначено оптимальне місце для встановлення системи піко гідро. Розроблено схему системи піко гідро та підібрано необхідні її складові. Розраховано енергетичну ефективність даної системи.

Ключові слова: турбіна Тесла, енергетична ефективність, пікогідроенергетична система, система освітлення

Вступ.

Міське водне господарство, як відомо, дуже енергоємне. Інженери та дослідники в усьому світі шукають способи рекуперації енергії, що міститься у водопровідних та каналізаційних мережах. Невикористаний потенціал малих (1-10 МВт), міні (100 кВт – 1 МВт) і мікро (5-100 кВт) гідроенергетичних систем в інженерних водоводах в основному залишився невивченим, тому дослідження цього альтернативного джерела енергії набуває актуальності.

Постановка проблеми дослідження. Метою роботи є дослідження можливого виробництва електроенергії мікрогідротурбінами, інтегрованими в каналізаційні системи житлових багатоповерхових будинків, які перетворюють потенційну енергію стоків у трубах в електричну потужність.

Аналіз сучасних закордонних і вітчизняних досліджень і публікацій. Раніше застосування турбіни Тесла було обмежене технологіями, які вимагали високої швидкості, але низького крутного моменту. Це мало цікавило інвесторів і уповільнювало розвиток технології. Але тепер, після змін у конструкції турбіни, вона стає перспективним джерелом електроенергії у багатьох аспектах [1].

Піко гідросистеми потужністю 5 кВт або менше можуть задовольнити енергетичну потребу з відносно низькими витратами та без негативного впливу на навколишнє середовище. Конструкція турбіни Тесла добре підходить для невеликих енергетичних проєктів, бо вона легко виготовляється та обслуговується на місці. Самі ж дискові ротори не чутливі до стирання і можуть працювати у засмічених джерелах води, що є значною перевагою для піко ГЕС.

Конструкція турбіни Тесла складається з кількох близько розташованих



дисків, встановлених та зафіксованих паралельно на валу (рисунок 1) [1]. Поруч із центром дисків розташовані отвори, через які випускається рідина в осьовому напрямку. Вузол диск-вал встановлено на підшипниках і вкрито в циліндричний корпус. Вхідний отвір в кожух спрямований приблизно по дотичній.

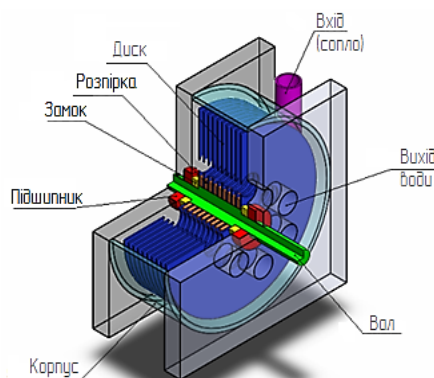


Рисунок 1 – Розріз турбіни Tesla

Робоча рідина надходить в камеру через вхідний патрубок в тангенціальному напрямку і тече по поверхні диска через дискові проміжки. Шлях потоку обертається по спіралі до центральних отворів, а потім виходить аксіально через випускний отвір. Завдяки в'язкості рідина прилипає до дисків, а градієнт швидкості формується по всьому робочому середовищу. Через це явище частина енергії рідини перетворюється на механічну роботу, що змушує диски та вал обертатися. Для керування характеристиками потоку рідини, особливо для збільшення швидкості під час входу або виходу рідини, застосовується сопло [2].

Потужність, яку можна отримати з води, розраховують за формулою [1]:

$$P = \eta \cdot Q \cdot H \cdot \rho \cdot g, \quad (1)$$

де η – ефективність турбіни, Q – загальний об'ємний потік (витрата), $\text{м}^3/\text{с}$; H – напір води, м ; ρ – густина води, $\text{кг}/\text{м}^3$, g – прискорення вільного падіння $\text{м}/\text{с}^2$.

Крутний момент турбіни Tesla розраховують за допомогою рівняння [2]:

$$T = F \cdot R = W \cdot L, \quad (2)$$

де T – крутний момент, $\text{Н}\cdot\text{м}$; F – сила, Н ; R – перпендикулярна відстань, м ; W – навантаження, Н ; L – довжина плеча важеля, м .

Об'ємна швидкість потоку рідини Q визначається як об'єм рідини, що проходить через задану площу поперечного перерізу за одиницю часу [2]:

$$Q = \frac{2}{3} \cdot C_d \cdot A \cdot \sqrt{2gh^{1.5}} = \frac{Vol}{t}, \quad (3)$$

де Q – витрата води, $\text{м}^3/\text{с}$; C_d – коефіцієнт розряду $= 0,60$; A – площа поперечного перерізу джерела води, м^2 ; g – прискорення вільного падіння, $\text{м}/\text{с}^2$; h – напір переливу води, м ; Vol – об'єм ємності, м^3 ; t – час заповнення ємності, с .

Крутний момент вимірюють навколо обертового валу, а механічна потужність обчислюється за допомогою рівняння [2]:

$$P = 2 \cdot \pi \cdot T \cdot N, \quad (4)$$

де T – крутний момент, $\text{Н}\cdot\text{м}$; N – швидкість обертання валу, $\text{об}/\text{хв}$.

Кількість гідроенергії Ph , яка генерується шляхом перетворення



потенційної енергії з води на перепаді висот, розраховують за виразом [2]:

$$Ph = Qt \cdot H \cdot \rho \cdot g, \quad (5)$$

де Qt – об'ємна витрата, $\text{м}^3/\text{с}$; H – напір води, м ; ρ – густина води, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Для визначення ефективності турбіни Tesla використовують рівняння [2]:

$$\eta = P / Ph = 2 \cdot \pi \cdot T \cdot N / Qt \cdot H \cdot \rho \cdot g. \quad (6)$$

Необхідна конструкція турбіни Tesla підбирається для кожного конкретного випадку її застосування, щоб можна було отримати найбільші переваги від особливостей цієї турбіни.

Оцінка продуктивності турбіни Tesla здійснена на основі результатів випробувань, наведених в [2, 3]. У [2] описано експеримент, де порівнювались ефективності турбіни Tesla при застосуванні двох джерел потоку води: потік води у прямокутній водозливній ємності та примусово створений насосом у шлангу. Результати отримані при різних кутах потоку води, зокрема 0° , 30° і 45° показують, що кут входу води в турбіну більш ефективний при 0° .

Для використання турбін Tesla з максимальною ефективністю та з врахуванням впливу середовища, проведено дослідження впливу геометрії наконечника диска на аеродинамічні характеристики та характеристики потоку «один до одного» та «один до багатьох» багатоканальних турбін Tesla [4]. Турбіни Tesla «один до одного» характеризуються тим, що один канал сопла направлений до одного каналу диска в осьовому напрямку, а турбіни Tesla «один до багатьох» характеризуються тим, що один канал сопла направлений до кількох дискових каналів в осьовому напрямку. Згідно з [4] характеристики потоку в одноканальних і багатоканальних моделях турбін відрізняються через наявність дисків, і тому кращою є турбіна Tesla з серією дисків і дискових каналів. Для роботи в неповністю очищених стоках каналізаційних мереж будинків краще застосувати набори дисків з гострими наконечниками, які допоможуть розмелювати залишки сміття. Конструкція турбіни Tesla повинна бути «один до багатьох», бо там найвищий крутний момент.

Висвітлення основного матеріалу дослідження.

Для оцінки тривалості стоку виконано частотний аналіз швидкості потоку [5]. Облік стічних вод ведеться на водоочисних спорудах, де встановлені витратоміри. Однак великою проблемою є облік потоку стічних вод у колекторній мережі будинків. Потік у зливних стоках змінюється залежно від щоденної потреби у воді, сезону та року. Для дослідження можливого вироблення електроенергії мікрогідротурбінами, інтегрованими в системи стічних вод, необхідно розглянути особливості схем потоку стічних вод та каналізації багатопверхових будинків. Крім того, для підтвердження енергетичної ефективності системи піко гідро на базі турбін Tesla необхідно розрахувати їх генерацію та порівняти її з енергопотребою на освітлення під'їздів та прибудинкових територій.

Для досліджень вибрано стандартний 9-ти поверховий будинок з трьома під'їздами. У кожному під'їзді знаходиться 36 квартир, загальна кількість їх у будинку – 108. Кожен під'їзд обладнаний шістьма водяними стояками, діаметром 25 мм, та шістьма зливними стояками, діаметром 110 мм.

Щоб освітити сходи кожного поверху в будинку використаємо LED-лампи,



потужністю 12 Вт. Цих ламп потрібно по 9 на кожен під'їзд. Для освітлення коридорів, яких є по два на поверх, застосуємо LED-лампи, потужністю 10 Вт. Для освітлення входів до під'їздів у будинок використаємо 3 лампи, потужністю 12 Вт. Повна потужність внутрішнього освітлення будинку становить:

$$P_{\text{вн}} = P_{\text{сх}} \cdot n_{\text{пов}} \cdot n_{\text{під}} + P_{\text{кор}} \cdot 2 \cdot n_{\text{пов}} \cdot n_{\text{під}} + P_{\text{вх}} = 12 \cdot 9 \cdot 3 + 10 \cdot 2 \cdot 9 \cdot 3 + 3 \cdot 12 = 900 \text{ Вт},$$

де $P_{\text{сх}}$, $P_{\text{кор}}$, $P_{\text{вх}}$ – відповідно, потужність LED-ламп, що використовуються для освітлення сходових маршів, коридорів, входів до під'їздів, Вт; $n_{\text{пов}}$ – кількість поверхів у будинку, шт.; $n_{\text{під}}$ – кількість під'їздів у будинку, шт.

Розрахована потужність цілком підходить для застосування піко ГЕС. Освітлення сходових маршів у під'їздах здійснюється у вечірній і ранковий час доби, а освітлення коридорів перед входами у квартири – при натисканні вимикача. Тобто, для визначення одночасно необхідної потужності освітленням можна прийняти, що працюють усі лампи освітлення сходових маршів і приблизно п'ята частина ламп освітлення коридорів, отже:

$$P_{\text{од}} = P_{\text{сх}} \cdot n_{\text{пов}} \cdot n_{\text{під}} + \frac{P_{\text{кор}} \cdot 2 \cdot n_{\text{пов}} \cdot n_{\text{під}}}{3} = 12 \cdot 9 \cdot 3 + \frac{10 \cdot 2 \cdot 9 \cdot 3}{5} = 324 + 108 = 432 \approx 450 \text{ Вт}.$$

Ця потужність повинна враховуватись при визначенні ємності акумулятора, що забезпечуватиме безперебійну роботу освітлення будинку. З добового графіку вмикання і вимикання мереж вуличного освітлення видно, що максимальна тривалість будинкового освітлення буде в січні і становитиме біля 12 годин. Тобто потрібно, щоб протягом 12 год. забезпечувалась неперервна потужність 450 Вт. Для цього використаємо акумулятор типу EUROSTART Trusk 190А на напругу 12 В і струм 190 А. Цей акумулятор не зможе забезпечувати розраховану потужність освітлення протягом вказаного періоду, тому йому необхідне регулярне підзарядження в процесі роботи. Це і повинна забезпечити запропонована піко гідросистема з турбіною Тесла.

Для знаходження місця встановлення піко ГЕС в будинковій системі каналізації розглянемо її загальну будову. Як правило, каналізація багатопверхового будинку розміщується в підвальному приміщенні. Також у ньому знаходиться центральна стічна труба, діаметром 250 мм, яка виходить в каналізаційну систему міста. До центральної стічної труби приєднуються збірні колектори з усіх стояків будинку, діаметром 110 мм [6]. У цих колекторах є ревізійні шахти для очищення труб та видалення твердого сміття.

Існують принципові відмінності між встановленням турбін на очисних спорудах і встановленням їх у каналізаційних мережах. Не завжди технічно можливо створити необхідний тиск в колекторі каналізаційної мережі через наявні бічні відводи, підключені до магістралі (колектора). Для зниження швидкості потоку в гравітаційних каналізаційних магістралях з великим ухилом також встановлюються пристрої для розсіювання енергії. В цьому випадку важко створити тиск в колекторі, а тому необхідно реконструювати трубопровід, щоб він працював як напірний трубопровід. Це дозволить додатково використовувати спожиту воду, розподілену по під'їздах будинку, та застосувати її підвищену температуру для підвищення ефективності піко ГЕС з турбіною Тесла. Для



створення напору та зменшення впливу забруднення зливний загальний колектор необхідно реконструювати шляхом перетворення його в напірний та реконструювати системи зливу загалом (рисунок 2).

До складу реконструйованої системи входять каналізаційні стояки кожного під'їзду 1, які заведені в колектор 2. В колекторі 2 є розгалуження, яке йде на ревізійну шахту 3 та на поряд розташовану герметичну ємність 4. В герметичній ємності 4 є люк для видалення сміття 5 та труба переливу 6. Герметична ємність 4 служить для створення напору H , який забезпечуватиме необхідну потужність турбіни Тесла. Залив стоків у герметичну ємність 4 здійснюється в нижню її частину для того, щоб тверді відходи осідали на дні. Забір робочої рідини для турбіни Тесла 7 здійснюється в точці, вищій від заливу для усунення пульсацій рідини, що надходить з колектора. На валу турбіни Тесла розміщений генератор змінного струму 8 з редуктором. У збірний колектор 9, який направляє стоки до центральної стічної труби району, направляються стоки або з герметичної ємності 4, або з ревізійної шахти 3. Перемикання між каналами подачі стоків здійснюється кранами 10 – 13. Коли працює турбіна Тесла, то крани 11 та 13 відкриті, а крани 12 та 10 – закриті. Коли ж вона знаходиться на обслуговуванні, або ємність 4 очищається від твердих відходів, то крани 11 та 13 закриваються, а 10 і 12 відкриваються і стоки йдуть через ревізійну шахту 3. Змінна напруга з генератора 8 надходить на контролер 14, який заряджає акумулятор 15. Постійна напруга з акумулятора надходить на інвертор 16, а звідти, перетворена у змінну 220 В, 50 Гц – в мережу освітлення будинку.

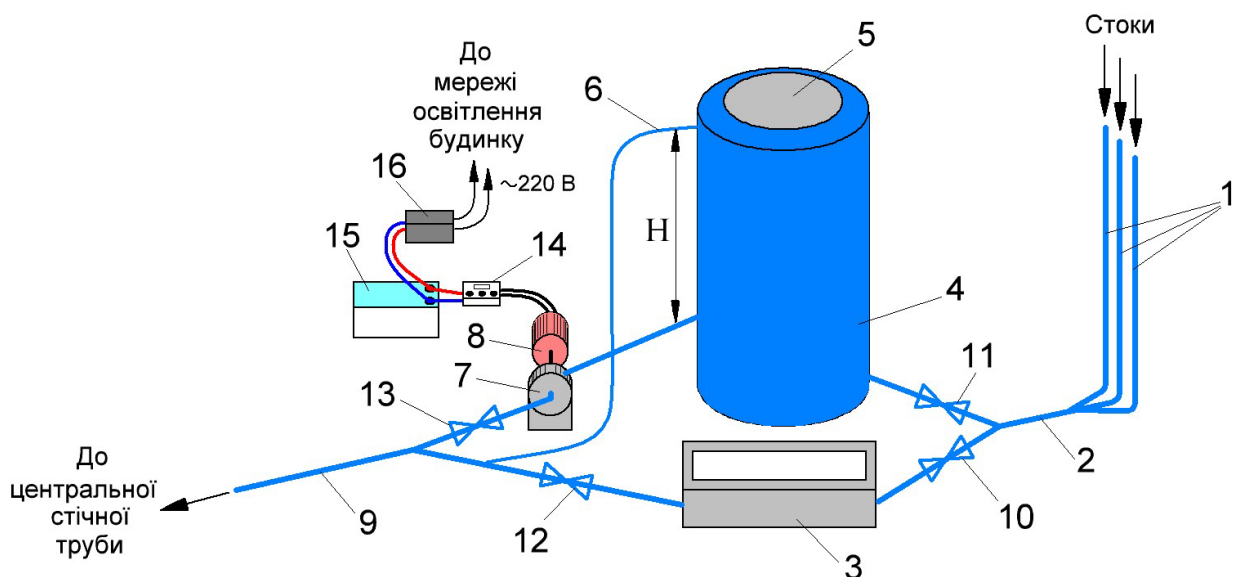


Рисунок 2 – Схема застосування піко гідросистеми у системі водовідведення будинку

Оцінка енергетичного потенціалу піко ГЕС у стічних водах є складною задачею. Дані про об'єм стічних вод залежні від різних часових форматів (місяці, дні, години), а також того, чи це стоки від зливної, чи побутової каналізації [5]. З дослідження [5] видно, що рівномірні стоки відбуваються приблизно з 10 до 23 год., тобто протягом 12-13 годин. Враховуючи, що внутрішнє освітлення будинку працює біля 10 год., цього цілком достатньо для генерації



електроенергії піко гідросистемою з підзарядкою акумулятора.

Вихід для очищення стічних вод із достатнім перепадом висоти підходить для установки міні ГЕС через високий і постійний об'єм потоку. Падіння напору з часом є значним, що призводить до зниження виробництва електроенергії в період малої кількості води в потоці (рисунок 3) [5]. Для зменшення впливу цього явища і застосували герметичну ємність, що служить як гідроакумулятор.

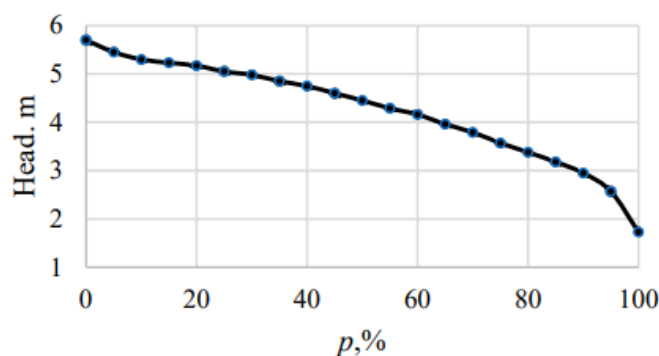


Рисунок 3 – Крива тривалості напору на виході з каналізаційної станції

Розрахуємо основні параметри турбіни Tesla для запропонованої піко гідросистеми.

Потужність на валу турбіни Tesla P_z , визначається з виразу (1). При цьому, з врахуванням різноманітних втрат прийемо, що ККД турбіни становить 60%. Напір води у герметичній ємності H прийемо 1,5 м.

Для розрахунку витрати рідини використаємо вираз (3), прийнявши напір води до переливу $h = 1,5$ м., а діаметр трубопроводу 250 мм. Звідси:

$$Q = \frac{2}{3} \cdot 0,6 \cdot \frac{0,25^2}{4} \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 1,5^{1,5}} = 0,118 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Тоді: $P_z = 0,6 \cdot 0,118 \cdot 1,5 \cdot 1000 \cdot 9,81 = 1041,82 \text{ Вт.}$

Електрична потужність електрогенератора піко гідросистеми, враховуючи, що його ККД η_e становить 90%, визначиться з виразу:

$$P_e = P_z \cdot \eta_e = 1041,82 \cdot 0,9 = 937,638 \approx 940 \text{ Вт.}$$

За 12 годин при стабільному тиску стоків піко гідросистема згенерує:

$$P_{\text{доб}} = P_e \cdot 12 = 940 \cdot 12 = 11280 \text{ Вт}\cdot\text{год. електроенергії.}$$

Для освітлення будинку за добу використовується:

$$P_{\text{ос}} = P_{\text{од}} \cdot 12 = 450 \cdot 12 = 5400 \text{ Вт}\cdot\text{год. електроенергії.}$$

З розрахованого можна зробити висновок, що запропонована піко гідросистема згенерує необхідну для освітлення кількість електроенергії з практично подвійним запасом. А це дозволить не тільки постійно підзаряджати акумулятор, а й додатково освітити територію перед будинком.

Висновки.

На основі реалізованих проєктів застосування систем піко гідро та турбін Tesla обґрунтовано вибір такої системи з використанням турбіни Tesla для застосування в системах освітлення багатоповерхових будинків та підтверджено її енергетичну ефективність.



Література:

1. Ho-Yan, Bryan P. Tesla turbine for pico hydro applications. *Guelph Engineering Journal*. 2011. No. 4. p. 1-8.
2. Andres, Jibsam F., Loretero, Michael E. Performance of tesla turbine using open flow water source. *International Journal of Engineering Research and Technology*. 2019. Vol. 12. No 12. p. 2191-2199.
3. Halim, Sufi, et al. Analysis on Inlet Nozzle Design Geometry of Tesla Turbine. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. p. 1-13.
4. Qi, Wenjiao, et al. Influence of disc tip geometry on the aerodynamic performance and flow characteristics of multichannel Tesla turbines. *Energies*. 2019. No 12.3. p. 572.
5. Punys, Petras; Jurevičius, Linas. Assessment of Hydropower Potential in Wastewater Systems and Application in a Lowland Country, Lithuania. *Energies*. 2022. No 15.14. p. 5173.
6. Монтаж каналізації в будинку. URL: <https://napravisam.net/?p=27143>.

Abstract. *On the basis of implemented projects on the use of pico-hydro systems and Tesla turbines, the choice of a pico-hydro power system using a Tesla turbine for use in lighting systems of multi-story buildings is substantiated.*

A study of the energy efficiency of the Tesla turbine of various designs in pico-hydro systems was carried out. The influence of the geometry of the disk tip on the flow characteristics of Tesla turbines is determined. For a multi-story residential building, the need for electricity to provide a lighting system for the common area is determined. The drainage system of the building is analyzed and the optimal location for the installation of the pico-hydro system is determined. The scheme of the pico-hydro system is developed and its necessary components are selected. The energy efficiency of this system is calculated.

Key words: *Tesla turbine, energy efficiency, pico hydro energy system, lighting system*