

ВАЩИШАК І. Р.,

ЦИХ В. С.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

<https://orcid.org/0000-0001-6476-9554>e-mail: ivs.vitalik@gmail.com

УДОСКОНАЛЕННЯ КОМБІНОВАНОЇ СИСТЕМИ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

В роботі проведено дослідження системи генерування електричної енергії для потреб будівель на основі комбінованого використання гідро- та сонячної енергетики. Оцінено можливості генерації електроенергії з енергії нагрітої пари, що виникає в процесі випаровування та руху теплоносія всередині теплової трубки. В результаті роботи запропоновано нову технологію генерації електроенергії з високою продуктивністю.

Ключові слова: сонячна енергетика, гідроенергетика, тепла трубка, функціональна схема.

IRYNA VASHCHYSHAK, VITALII TSYKH
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

IMPROVEMENT OF THE COMBINED SYSTEM OF ELECTRICITY GENERATION

An urgent problem today is the need for uninterrupted and reliable energy supply of buildings and structures using alternative energy.

Theoretical research was conducted in order to create a new technology of electricity generation by combining the capabilities of renewable energy sources, namely solar and hydropower. To confirm the possibility of creating a new technology of electricity generation, scientific studies of the properties of heat pipes were conducted.

The possibilities of generating electricity from the energy of heated steam, which arises in the process of evaporation and movement of the coolant inside the heat pipe, are estimated. The source of energy for the evaporation process is hot water from the solar collector, which is forcibly supplied to the evaporation zone by a pump. The source of electricity for the operation of the pump and auxiliary equipment and means for cooling the evaporation zone of the heat pipe are solar panels, placed in such a way as to create a constant shadow on the surface of the heat pipe. The use of hot water from the solar collector as a heat source for the operation of such a heat pipe has made it possible to create a new technology for generating electricity with high productivity.

Based on the theoretical research, the structure of the combined system of electricity generation is proposed, in which the impeller of the turbine is placed inside the heat pipe, and its heating is carried out by solar collectors, which increased the efficiency of renewable energy sources. The functional scheme of the combined system of generation of the electric power is developed and the principle of its work is resulted. The main theoretical dependences are selected and the parameters of the elements of such a combined generation system are calculated.

Key words: solar energy, hydropower, heat pipe, functional scheme.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

На сьогодні близько 40% енергетичних ресурсів в Україні споживається будівлями. В той же час, для таких будівель характерний досить високий потенціал енергозаощадження, який становить 50–60% [1]. Характерною особливістю будівель є те, що крім значних витрат енергії вони досить часто мають незадовільний стан мікроклімату всередині приміщень.

Складність проблеми полягає в тому, що підвищення енергоефективності будівель повинне забезпечити скорочення споживання паливно-енергетичних ресурсів при незмінному рівні комфорту в приміщеннях, а іноді і при підвищенні такого комфорту. В цьому випадку, розрахункова енергетична модель будівлі має розроблятися із врахуванням результатів енергетичного аудиту та, відповідно, стати основою для формування системи енергетичного менеджменту будівлі.

Одним із можливих варіантів реалізації енергоефективного рішення є можливість використання відновлюваних джерел енергії. Крім того, враховуючи особливості функціонування кожного із таких видів енергетики, доцільно детальніше розглянути можливості комплексного використання кількох альтернативних джерел.

Аналіз останніх джерел

На даний час відновлювана енергетика інтенсивно розвивається за багатьма напрямками. Одними з цих напрямків є мала гідроенергетика та сонячна енергетика. Досягнення в цих галузях сягнули значних успіхів.

Так, в галузі малої гідроенергетики з'явилась значна кількість сучасних мініГЕС (дериваційних, шнекових, коловоротних), які працюють на водяних потоках середньої та малої продуктивності з незначними перепадами висот [2, 3] та генерують до 10 кВт/год електроенергії.

В цих мініГЕС використовуються різноманітні типи турбін (Каплана, Пелтона, Тюрго, Френсіса, Томсона, Банки) [3–5]. Ці турбіни мають різні коефіцієнти корисної дії, що знаходяться в межах 55–90%. Залежать вони, у першу чергу, від форми, кута повороту та кількості лопатей, а також від напору та кута падіння рідини. Основними недоліками, що впливають на роботу мініГЕС, які загострилися останнім часом,

є підвищення нерівномірності продуктивності водяних потоків та подекуди їх повне зникнення, пов'язані з впливом глобального потепління. Пов'язане з цим інтенсивне випаровування води з поверхонь водяних басейнів робить застосування малої гідроенергетики в майбутньому малоперспективним.

В галузі сонячної енергетики з'явилися високопродуктивні панелі з потужностями 300 Вт і більше. Також значного розвитку досягли системи нагрівання води від впливу сонячного випромінювання – геліоколектори. Основними недоліками систем сонячної енергетики є значні площі, які вони займають та неможливість роботи в нічну пору доби.

Одним з варіантів забезпечення цілодобової генерації електроенергії елементами сонячної енергетики (сонячними панелями та геліоколекторами) є застосування випарних (теплових) трубок як теплообмінних апаратів для забезпечення роботи гідротурбін.

Поспівдавши переваги систем малої гідро- та сонячної енергетики з властивостями теплових трубок можна створити нову технологію генерації електроенергії з високою продуктивністю.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є дослідження системи генерування електричної енергії для потреб будівель на основі використання відновлюваних джерел енергії.

Виклад основного матеріалу

Для підтвердження можливості створення нової технології генерації електроенергії проводились наукові дослідження властивостей теплових трубок згідно [6, 7].

З розрахунків видно, що всередині працюючої теплової трубки виникають значні тиски водяної пари, яка конденсується перетворюється на воду, що стікає стінками труби в зону випаровування. Ця вода забезпечує високий рівень теплопередачі поверхні теплової трубки, перетворюючи її на найефективніший теплообмінник.

Нами запропоновано використати енергію парового потоку всередині теплової трубки для обертання колеса турбіни, що вироблятиме електроенергію. Це можна зробити через те, що всередині теплової трубки при її роботі виникають два види різноспрямованих потоків – паровий (при випаровуванні рідини всередині трубки) та конденсаційний (при її конденсації на стінках трубки). Швидкість зміни цих потоків може в рази перевищувати швидкість звуку, тобто всередині трубки утворюється горизонтальний торнадо значної потужності. Якщо помістити колесо гідротурбіни у такий торнадо, то воно буде швидко обертатись, що викличе генерацію електроенергії гідротурбіною.

Схема, що пояснює роботу комбінованої системи генерації електричної енергії на базі малої гідро- та сонячної енергетики наведена на рисунку 1.

Основу системи генерації електроенергії становить замкнута тепла трубка 1, виконана у виді тору, нижня частина якої наповнена рідиною 2 для випаровування. Теплова трубка має дві зони, позначені пунктирними лініями: випаровування I та конденсації II.

Для того, щоб рідина 2 випаровувалась тільки у зоні випаровування I, а конденсувалась тільки у зоні конденсації II, створюючи при цьому однаправлену циркуляцію парового потоку, застосовано шар масла 3, яке знаходиться над стовпом рідини 2. Цей шар масла не дає рідині випаровуватись у лівому коліні теплової трубки, що призводить до її випаровування тільки у правому коліні. Паровий потік з зони випаровування I поступає в зону конденсації II, де рідина, конденсуючись на стінках лівого коліна теплової трубки, стікає вниз. Через те, що масло легше за рідину, воно увесь час залишатиметься над рідиною, яка зі стінок лівого коліна проходить крізь нього, попадаючи у нижню частину трубки. Таким чином, паровий потік циркулюватиме строго в одному напрямку.

Якщо у цей потік помістити колесо гідротурбіни 4, до валу якого приєднано гідроелектрогенератор 5, то воно повертатиметься за рахунок енергії потоку, повертаючи за собою ротор гідроелектрогенератора 5, який генеруватиме змінний струм. Цей змінний струм поступатиме на інвертор, що нормуватиме його значення на рівні 220 В для живлення різноманітної побутової техніки.

Підігрів води для випаровування здійснюється в нижній частині теплової трубки 1 за допомогою

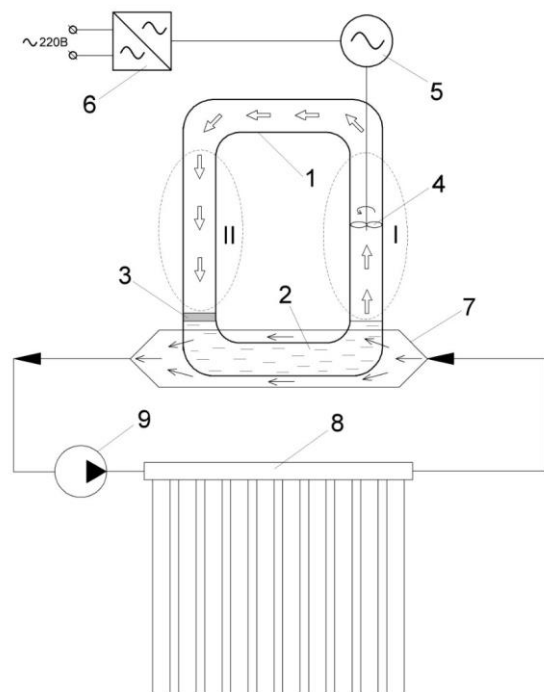


Рис. 1. Принцип роботи комбінованої системи генерації електричної енергії на базі малої гідро- та сонячної енергетики: 1 – тепла трубка, 2 – рідина, 3 – масло, 4 – колесо гідротурбіни, 5 – гідроелектрогенератор, 6 – інвертор, 7 – колектор, 8 – геліоколектор, 9 – насос

колектора 7, вода для якого підігрівається геліоколектором 8 і подається циркуляційним насосом 9.

В денну пору доби сонце нагріває воду у геліоколекторі 8, яка за допомогою насоса 9 постійно циркулює в замкнутому контурі. Прогріваючись від сонця, температура води постійно зростає. Для підтримання постійного числа обертів гідротурбіни 4 продуктивність насоса 9 повинна також синхронно змінюватись: з ростом температури – зростати, а з її зменшенням – спадати.

Як колесо турбіни доцільно використати, наприклад, турбіну Томсона, яка добре працює у подібних середовищах і має ККД біля 80% [8]. Для збільшення енергії теплового потоку треба зменшити тепловіддачу трубки в зоні випаровування у навколишнє середовище. Для цього як матеріал поверхні трубки необхідно вибрати метал або твердий пластик з низькою теплопровідністю.

Роботу насоса та іншого допоміжного обладнання можуть забезпечувати сонячні панелі, розміщені над зоною конденсації теплової трубки.

На основі описаної технології генерації електроенергії була розроблена функціональна схема комбінованої системи генерації, в якій використовуються сонячні панелі, геліоколектори та мініГЕС, наведена на рисунку 2.

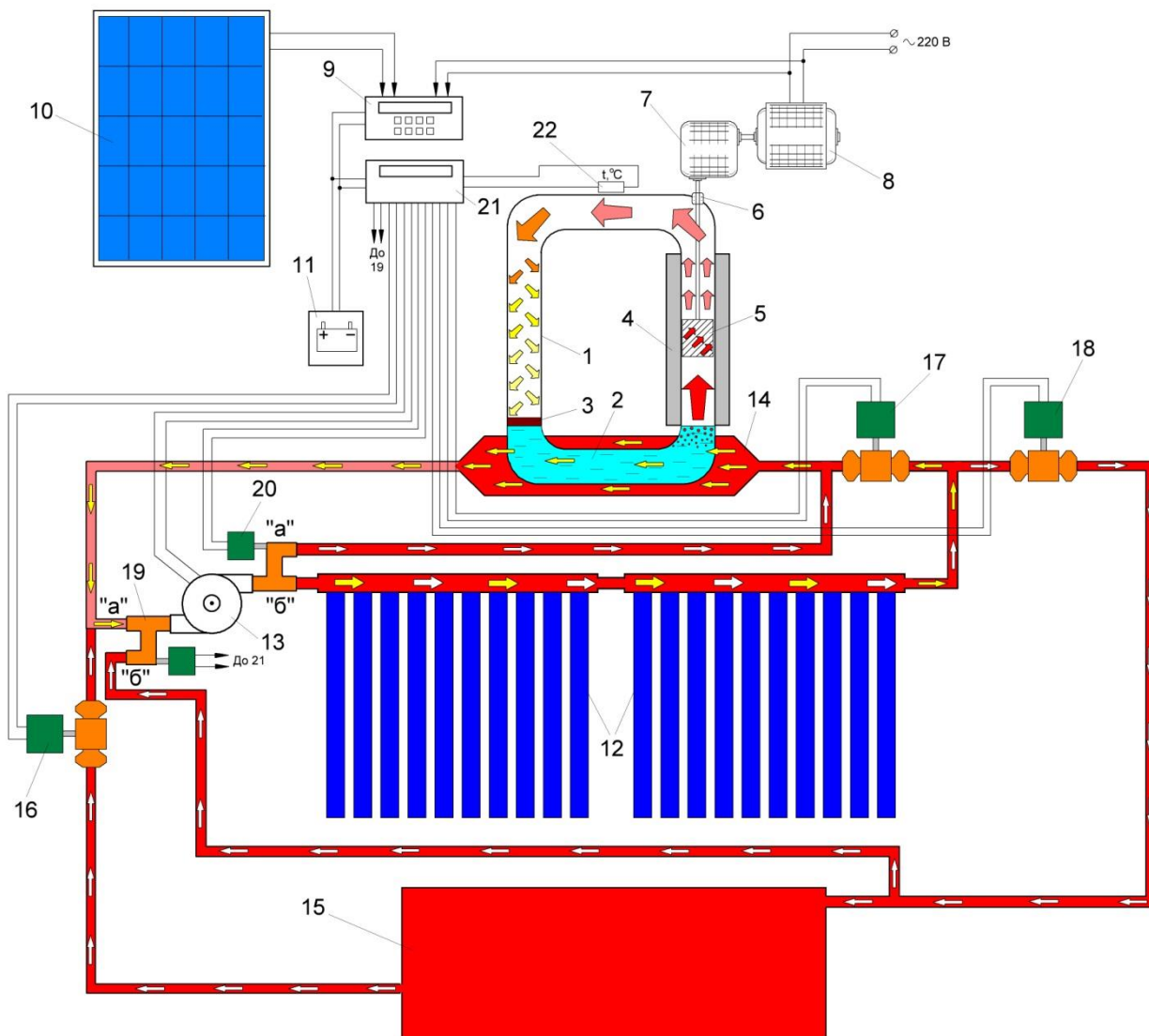


Рис. 2. Функціональна схема комбінованої системи генерації електроенергії: 1 – тепла трубка, 2 – рідина для випаровування, 3 – коліно, 4 – утеплювач, 5 – гідротурбіна, 6 – фторопластовий ущільнювач, 7 – редуктор, 8 – електрогенератор змінного струму, 9 – гібридний контролер, 10 – сонячна панель, 11 – акумуляторна батарея, 12 – геліоколектори, 13 – циркуляційний насос зі змінною продуктивністю, 14 – колектор, 15 – бак-акумулятор, 16-18 – електромагнітні клапани, 19-20 – тривходові електроклапани, 21 – мікроконтролерний модуль, 22 – термодатчик

До складу комбінованої системи генерації електроенергії входить як основний вузол герметична вакуумована тепла трубка 1 з рідиною для випаровування 2 та шаром масла для запобігання випаровування рідини в лівому коліні 3. Зона випаровування у правому коліні теплової трубки 1 для зменшення теплових втрат покрита шаром утеплювача 4. Всередині правого коліна теплової трубки розміщено робоче колесо гідротурбіни 5, вал якого через фторопластовий ущільнювач 6 приєднано до

редуктора 7. До вихідного валу редуктора 7 приєднано електрогенератор змінного струму 8, вихід якого з'єднано із входом гібридного контролера 9. На другий вхід гібридного контролера 9 подається постійний струм, вироблений сонячною батареєю 10. Гібридний контролер заряджає акумуляторні батареї 11 або від сонячних панелей, або від електрогенератора. На виході електрогенератора 8 формується змінна однофазна напруга 220 В з частотою 50 Гц, яка подається в будинок для забезпечення роботи його електроприладів.

Джерелом тепла у комбінованій системі генерації електроенергії служать геліоколектори 12. Рухом рідини у системі тепlopостачання теплової трубки 1 керує циркуляційний насос зі змінною продуктивністю 13. Нагрівання рідини для випаровування у теплової трубки 1 здійснюється герметичним термоізолюваним колектором 14, в який поміщена нижня частина трубки 1.

Запропонована схема комбінованої системи дає змогу здійснювати генерацію електроенергії у темну пору доби (а влітку практично цілодобово) за допомогою застосування теплового бака-акумулятора 15 та триконтурної схеми циркулювання теплоносія. Двоконтурна схема циркулювання теплоносія використовується у світлу пору доби, а третій контур працює у вечірню і нічну її частини.

Робота кожного контуру триконтурної схеми циркулювання теплоносія організовується за допомогою електромагнітних клапанів 16-18 та тривходових електроклапанів 19, 20, які керуються мікроконтролерним модулем 21. Цим же модулем за допомогою термодавача 22, розміщеного у верхній зоні теплової трубки 1, керується продуктивність циркуляційного насосу 13.

Живляться усі електронні пристрої комбінованої системи генерації електроенергії від акумуляторних батарей 11, які заряджаються від гібридного контролера 9.

Працює комбінована системи генерації електроенергії наступним чином. На початку дня, коли сонце тільки підіймається і температура води на виході геліоколекторів є доволі низькою, працює перший контур постачання теплоносія. Він організовується шляхом закриття мікроконтролерним модулем 21 електромагнітних клапанів 16 та 18, відкриття клапану 17 та ввімкнення тривходового клапану 20 в положення «б» (коли насос приєднується до геліоколекторів). Тривходовий клапан 19 вмикається у положення «а». Теплоносій, у цьому випадку, циркулюватиме у контурі геліоколектори 12, клапан 17, колектор 14, клапан 19, циркуляційний насос 13, клапан 20 (жовті стрілки). Теплоносій у колекторі 14 нагріватиме рідину 2 у нижній частині теплової трубки 1, яка почне випаровуватись у правому її коліні. Паровий потік обертає робоче колесо парової турбіни 5, віддаючи частину енергії на обертання. Пройшовши робоче колесо, паровий потік втрачає свою температуру та потрапить у зону конденсації в лівому коліні замкненої трубки 1, де відбудеться конденсація рідини на стінках трубки. Цьому сприятиме також інтенсивна тепловіддача лівого коліна трубки у навколишнє середовище, яка не покривається теплозахисним шаром. Сконденсовані краплі рідини стікатимуть під шар масла 3 до основної рідини 2, яка знову випаровуватиметься в правому коліні трубки 1. Цей процес повторюватиметься постійно. При цьому електрогенератор 8 генеруватиме змінний струм мережевої частоти, який подаватиметься на гібридний контролер 9.

При збільшенні сонячної радіації і зростанні температури теплоносія на виході геліоколекторів 12 та у колекторі 14 мікроконтролер 21 за даними з термодавача 22 збільшуватиме продуктивність насосу 13 для того, щоб температура у колекторі 14 зменшувалась та підтримувалась в теплової трубки 1 у визначених межах. Це підтримуватиме стабільні оберти робочого колеса гідротурбіни 5 та частоту виробленої генератором 8 електроенергії.

Коли ж продуктивність насосу 13 досягне максимуму, а сонячна радіація і, відповідно, температура теплоносія надалі зростатиме, увімкнеться другий контур постачання теплоносія. При цьому клапан 17 вимкнеться, перекривши потік теплоносія у колектор 14, а клапани 16 та 18 увімкнуться, організувавши рух теплоносія через бак-акумулятор 15. Тепер теплоносій циркулюватиме по контуру: геліоколектори 12, клапан 18, бак-акумулятор 15, клапан 16, клапан 19, насос 13, клапан 20 (білі стрілки).

Як видно зі схеми на рисунку 2, в обох випадках теплоносій циркулюватиме через геліоколектори 12, які здійснюють його нагрівання.

Поки теплоносій нагріватиме воду в баці-акумуляторі 15, мікроконтролер 21 слідкуватиме за показами термодавача 22. Як тільки температура всередині теплової трубки 1 досягне мінімальної встановленої межі, мікроконтролера 21 відімкне другий контур тепlopостачання та увімкне перший, що підвищить температуру всередині трубки 1. Такі цикли вмикання-вимикання дадуть змогу протягом дня достатньо нагріти воду в баці-акумуляторі 15, щоб потім використовувати її як теплоносій для генерації електроенергії в нічну пору доби.

У вечірню та нічну пору доби, коли сонячна радіація не нагріватиме воду в геліоколекторах, вони перетворюються в охолоджувачі, які охолоджуватимуть теплоносій до температури навколишнього середовища. Це негативне явище може зменшити або й зовсім припинити виробництво електроенергії. В той же час у нас є потужний бак-акумулятор зі значною кількістю нагрітої за цілий день води.

Для продовження генерації електроенергії і зменшення при цьому теплових втрат необхідно виключити геліоколектори з контуру циркулювання теплоносія. Це можна зробити за допомогою третього контуру руху теплоносія, організувавши закриття клапанів 17 та 18, відкриття клапана 16, переведення клапана 20 в положення «а», а клапана 19 – в положення «б». Тоді теплоносій циркулюватиме замкнутим контуром по шляху: насос 13, клапан 20, колектор 14, клапан 16, бак-акумулятор 15, клапан 19. При цьому гаряча вода з бака-акумулятора омиватиме низ теплової трубки 1, створюючи випаровування та

конденсацію води в ній, що сприятиме виробництву електроенергії. Тобто в цьому випадку, роль джерела тепла відіграє не група геліоколекторів, а бак-акумулятор.

При відповідній ємності бака-акумулятора 15 генерація електроенергії відбуватиметься тривалий час, що зможе забезпечити роботу електроприладів у будинку у вечірній та нічний час доби.

Коли температура у верхній частині теплової трубки 1 зменшиться за заданий рівень, мікроконтролер 21 зупинить насос 13 і генерація електроенергії припиниться.

Далі авторами проведено розрахунок основних характеристик спроектованої комбінованої системи генерації електричної енергії

У середині теплової трубки діють дві фази – рідка та пар. Режим течії у рідкій фазі теплової трубки завжди є ламінарним, бо рідина в зоні конденсації стікає рівномірно вздовж стінок трубки.

При стаціонарній ламінарній течії нестискуваної рідини з постійною в'язкістю μ в круглій трубці з радіусом a швидкість рідини V , перепад тиску $p_2 - p_1$ на ділянці, довжиною l зв'язані між собою виразом [6]:

$$\frac{p_2 - p_1}{l} = \frac{8\mu V}{a^2} \quad (1)$$

Масова витрата рідини буде змінною як у випаровувачі, так і у конденсаторі, тому для цих ділянок для розрахунку доцільно вибрати не геометричну, а деяку ефективну довжину. Якщо зміна маси рідини на одиницю довжини трубки буде постійною, то повна масова витрата рідини на цих ділянках плавно наростатиме або плавно спадатиме. Тоді можна замінити довжину ділянки випаровування l_a і конденсації l_c на $l_a/2$ і $l_c/2$. Звідси повна ефективна довжина каналу для проходження рідини становитиме [6]:

$$l_{ef} = l_a + \frac{l_c + l_a}{2} \quad (2)$$

де l_a – довжина адіабатичної ділянки теплової труби.

Звистість каналів у капілярній структурі теплової трубки враховується окремо для гнітів різних типів. На основі проведеного аналізу різних видів гнітів [6] обрано гніти з відкритими осьовими канавками, проточеними в основному тілі труби, які дозволяють витримувати максимальні тиск та швидкість парових потоків, а такої їх знакомінну дію під впливом динамічної дії робочого колеса гідротурбіни.

Отже, перепад тиску у рідкій фазі для теплової трубки нашої системи генерації доцільно розраховувати за наступним виразом [6]:

$$\Delta p_p = \frac{8\mu_p \cdot Q \cdot l_{ef}}{\pi \cdot r_{ef}^2 \cdot N \cdot \rho_p \cdot L} \quad (3)$$

де N – кількість канавок гніту;

μ_p – постійна в'язкості рідини;

Q – потужність парового потоку;

l_{ef} – ефективна довжина каналу для проходження рідини;

ρ_p – густина рідини;

L – прихована теплота випаровування;

r_{ef} – ефективний радіус пори.

Після розрахунку параметрів гнітів здійснюється розрахунок перепаду тиску у паровій фазі теплової трубки.

Цей перепад тисків складається з суми перепадів тисків у трьох зонах: випаровування (праве коліно трубки), адіабатичній верхній горизонтальній ділянці та конденсації (ліве коліно трубки). Поки що вважаємо, що робоче колесо гідротурбіни в тепловій трубці відсутнє.

Проблема розрахунку перепадів тиску у паровій фазі ускладнюється наявністю радіальних потоків пари, пов'язаних з випаровуванням рідини та її конденсацією. Для зручності розрахунку вводиться радіальне число Рейнольдса, яке враховує радіальну складову вектора швидкості V на поверхні гніту, тобто при $r = r_n$, де r_n – радіус парового каналу.

При постійній швидкості випаровування чи конденсації радіальні та аксіальні числа Рейнольдса, пов'язані співвідношенням [6]:

$$R_r = \frac{R_a \cdot r_n}{4 \cdot Z}, \quad (4)$$

де Z – відстань від кінця зони випаровування або зони конденсації;

r_n – радіус парового каналу;

R_a – аксіальне число, що знаходиться з виразу [6]:

$$R_a = \frac{\rho_n V_n d_n}{\mu_n} \quad (5)$$

У зоні випаровування перепад тиску у паровій фазі виконує дві функції:

- розганяє пар, що надходить в зону випаровування до осьової швидкості V_n , оскільки цей пар спочатку має тільки радіальну складову вектора швидкості;

- долає сили тертя на поверхні гніту.

Отже, повний перепад тиску в зоні випаровування (без робочого колеса гідротурбіни) розраховується з виразу [6]:

$$\Delta p_{ns} = \rho_n^2 \cdot V_n^2 + \frac{8 \cdot \mu_n \cdot \dot{m}}{\pi \cdot \rho_n \cdot r_n^4} \cdot \frac{l_n}{2}, \quad (6)$$

де l_n – довжина парового каналу.

μ_n – постійна в'язкості пари.

На адіабатній ділянці, де течія ламінарна, перепад тиску містить тільки складову в'язкості і знаходиться з формули [6]:

$$\Delta p_{na} = \frac{8 \cdot \mu_n \cdot \dot{m}}{\pi \cdot \rho_n \cdot r_n^4} \cdot l_a, \quad (7)$$

Коли ж у потік поміщено колесо гідротурбіни, то він змінить свою структуру з ламінарної на турбулентну внаслідок постійного збурення від лопаток колеса. В цьому випадку перепад тиску розраховуватиметься з виразу [6]:

$$\Delta p_{na} = \frac{2}{r_n} \cdot \frac{0,0791}{R_e^{0,25}} \cdot \frac{\rho_n \cdot V_n^2}{2} \cdot l_a \quad (8)$$

Крім того, на перепад тиску у паровій фазі впливатиме також перепад тиску на колесі, який приводитиме його у рух. Цей перепад створиться тиском p_m , який діятиме на площу лопаток робочого колеса гідротурбіни S_m з певною силою F .

Потужність гідротурбіни для роботи в паровому потоці визначається з виразу [6]:

$$Q_m = P_m \cdot \eta, \quad (9)$$

де P_m – електрична потужність гідротурбіни,

η – ККД гідротурбіни.

Для того, щоб паровий потік всередині теплової трубки зміг прокрутити робоче колесо гідротурбіни необхідно, щоб його потужність була завжди більшою за потужність, необхідну для приведення колеса в рух та підтримання обертів на максимальній потужності електрогенератора, тобто зберігались умови:

$$Q > Q_m, \quad (10)$$

$$(\Delta p_{ns} + \Delta p_{na}) \gg p_m.$$

Отже, перепад тиску у рідкій фазі для теплової трубки нашої системи генерації доцільно розраховувати за виразом (3), а перепад тиску у паровій фазі – за виразом (8).

З виразів (6) та (8) можна визначити вектори швидкості парового потоку, звідки, маючи розміри і масу, встановити швидкість обертання робочого колеса гідротурбіни, а звідти і частоту змінного струму, що виробляється електрогідроенератором.

Основою для розрахунку є тепла потужність теплового потоку трубки Q , вид теплоносія, внутрішній об'єм трубки, маса теплоносія, маса та розміри робочого колеса гідротурбіни та потужність електрогенератора.

Розрахунок теплової трубки для системи генерації електроенергії є ітераційною процедурою, де послідовно підбирається кожен параметр, а інші постійно перераховуються.

Згідно методик, наведених у [6] було розраховано параметри теплової труби для отримання електроенергії комбінованою системою. Через те, що в літературі подібні системи генерації описані недостатньо, згідно даних [9] вважатимемо, що запропонована нами тепла трубка має доволі високу ефективність і перетворить біля 70% потужності теплового потоку у потужність обертання електрогенератора. Тобто для отримання потужності на валу генератора 6 кВт для живлення електроприладів у будинку, необхідно мати біля 7,8 кВт теплової енергії. Однак, враховуючи, що ККД електрогенератора становить біля 90%, тепла потужність трубки для генерації електроенергії повинна бути більше 8,5 кВт. Враховуючи те, що тепло подається на трубку шляхом омивання гарячим теплоносієм нижньої її частини, потрібно враховувати втрати, які при цьому виникають. При добре теплоізованому колекторі вони не перевищуватимуть 5%.

Всю теплову потужність нашої комбінованої системи генерації повинні забезпечити геліоколектори.

Отримані розрахункові параметри теплових та електричних елементів комбінованої системи генерації електричної енергії наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Основні розрахункові параметри елементів комбінованої системи генерації електричної енергії

Параметр	Одиниця вимірювання	Значення
Потужність теплового потоку трубки	кВт	8,5
Теплова потужність колектора	кВт	9
Теплова потужність геліоколекторів	кВт	9,5
Потужність електрогенератора	кВт	6
Діаметр робочого колеса	м	0,15
Внутрішній діаметр по каналах гніту	м	0,18

Маса води в трубі	кг	5
Кількість каналів гніту	шт.	12
Частота обертів турбіни	Гц	50
Перепад тиску в рідкій фазі	МПа	0,3
Перепад тиску в паровій фазі	МПа	0,5
Об'єм колектора	л	12
Об'єм бака-акумулятора	л	200

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Запропоновано структуру комбінованої системи генерації електричної енергії, в якій робоче колесо гідротурбіни розміщується всередині теплової трубки, а її підігрів здійснюється від геліоколекторів. На основі структури розроблено функціональну систему комбінованої системи генерації електроенергії з повним набором обладнання.

Наведено основні теоретичні залежності для розрахунку елементів комбінованої системи генерації та результати розрахунку їх основних параметрів.

Література

1. Базовий рівень споживання енергії громадськими будівлями. Роль базового рівня при проведенні енергетичної оцінки будівель та застосуванні механізму ЕСКО [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://slavrada.gov.ua/uploads/File/invest/posibnyki/15.pdf>.
2. Майстерня своєї справи. Конструктивні види малих ГЕС [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://msd.in.ua/konstr_aktivni-vidi-malix-ges/.
3. Міні-ГЕС по принципу водовороту [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://aenergy.ru/865>.
4. Технічний звіт з оцінки потенціалу відновлюваної енергетики в Україні: Малі ГЕС. Програма фінансування альтернативної енергетики в Україні (USELF) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.uself.com.ua/fileadmin/documents/U-Small_Hydro_Technical_Report.pdf.
5. Мала гідроенергетика України. Аналітичний огляд [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://energyukraine.org/wp-content/uploads/2018/05/Otchet-MGES1.pdf>.
6. Дан П.Д. Тепловые трубы / П.Д. Дан, Д.А. Рей ; [пер. с англ.]. – М. : Энергия, 1979. – 272 с.
7. Михаленко Т.Г. Подход к проектированию тепловой трубы вакуумированного солнечного коллектора / Т.Г. Михаленко, С.В. Губин // Авиационно-космическая техника и технология. – 2012. – № 2 (89). – С. 78–82.
8. Мала гідроенергетика України. Том II. Технологічні особливості малих ГЕС [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://energyukraine.org/wp-content/uploads/2018/05/Otchet-MGES2.pdf>.
9. Власов В.Н. Интересный вариант МикроГЭС на воде и масле / В.Н. Власов // Безтопливная энергетика. – 2008.

References

1. Bazoviy riven spozhyvannia enerhii hromadskymy budivliamy. Rol bazovoho rivnia pry provedenni enerhetychnoi otsinky budivel ta zastosuvanni mekhanizmu ESKO [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <http://slavrada.gov.ua/uploads/File/invest/posibnyki/15.pdf>.
2. Maisternia svoiei spravy. Konstruktivni vydy malykh HES [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : https://msd.in.ua/konstr_aktivni-vidi-malix-ges/.
3. Mini-HES po pryntsyphu vodovorotu [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <http://aenergy.ru/865>.
4. Tekhnichniy zvit z otsinky potentsialu vidnovliuvanoi enerhetyky v Ukraini: Mali HES. Prohrama finansuvannia alternatyvnoi enerhetyky v Ukraini (USELF) [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : http://www.uself.com.ua/fileadmin/documents/U-Small_Hydro_Technical_Report.pdf.
5. Mala hidroenerhetyka Ukrainy. Analitychnyi ohliad [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <http://energyukraine.org/wp-content/uploads/2018/05/Otchet-MGES1.pdf>.
6. Dan P.D. Teplovyte truby / P.D. Dan, D.A. Rej ; [per. s angl.]. – M. : Energiya, 1979. – 272 s.
7. Mihalenko T.G. Podhod k priektirovaniyu teplovoj truby vakuumirovannogo solnechnogo kolektora / T.G. Mihalenko, S.V. Gubin // Aviacionno-kosmicheskaya tehnik i tehnologiya. – 2012. – № 2 (89). – S. 78–82.
8. Mala hidroenerhetyka Ukrainy. Tom II. Tekhnolohichni osoblyvosti malykh HES [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://energyukraine.org/wp-content/uploads/2018/05/Otchet-MGES2.pdf>.
9. Vlasov V.N. Interesnnyj variant MikroGES na vode i masle / V.N. Vlasov // Beztoplivnaya energetika. – 2008.