УДК 621.383.51:536.244

НОВА СХЕМА ОХОЛОДЖЕННЯ СОНЯЧНИХ ГЕНЕРАТОРІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

З. А. Бухонок[1, a], А. А. Халатов[2], О. С. Ступак[2]

[1] *Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», НН Фізико-технічний інститут*

[2] *Інститут технічної теплофізики НАН України*

Анотація

У статті розглянутий новий метод повітряного охолодження сонячних панелей із використанням повітря отриманого по циклу Майсоценко. Виконано теоретичний огляд циклу Майсоценко, який засновано на психрометричній різниці температур та має переваги над традиційними циклами. Проаналізовано переваги та недоліки повітряної схеми охолодження сонячних панелей розробленої у 2021 році у якій використовується тільки холодне повітря. Розроблено нову більш ефективну та економічну схему охолодження сонячних панелей із одночасним використанням холодного та насиченого вологого повітря отриманого по циклу Майсоценко.

Ключові слова: сонячна панель, повітряне охолодження, цикл Майсоценко

Вступ

У теперішній час зростає потреба у відновлюваних джерелах енергії. Сонячна енергетика розвивається найшвидше – встановлена потужність сонячної енергетики у світі складає 849 ГВт [1], в Україні – 6,2 ГВт. Середній коефіцієнт корисної дії (ККД) сонячних панелей складає 15 – 18%, проте він знижується на 0,3 – 0,5% при підвищенні температури на 1°C вище номінальної. Виникає необхідність охолодження сонячних панелей. Найпоширенішими методами охолодження сонячних панелей є охолодження повітрям, рідинне охолодження та випарне охолодження.

Системи, які використовують вентилятори або інші засоби для створення потоку повітря нвзивають активними системами повітряного охолодження.втрати на активне охолодження мають компенсуватись підвищенням ефективності панелі. Недоліком повітряної методу охолодження є низька ефективність у літній час.

При рідинному охолодженні найчастіше використовують такі три методи: охолодження за допомогою примусової циркуляції рідини, обприскування водою та занурення у рідину. Сенс охолодження за допомогою примусової циркуляції рідини полягає у примусовій прокачці рідини через спеціальні мікроканали прокладені на панелі. Теплота відбирається робочою рідиною. Така система може працювати довгий час не нагріваючись понад 70 – 80°C. Метод охолодження обприскуванням водою полягає у обприскуванні сонячних панелей водою через розбрискувачі, встановлені над верхньою частиною панелі. Такий метод може збільшувати ефективність панелі до 15%. Проте, така система витрачає та нефективно використовує велику кількість води. Ще одним мінусом є нерівномірність охолодження. Ще одна техніка – занурення сонячної панелі у воду. Ефективність підвищується за рахунок поглинання водою тепла. Рідинні схеми характеризуються високою складністю реалізації та підведення води є важким процесом у багатьох регіонах.

При випарному охолодженні відбувається охолодження за допомогою випаровування води із використанням теплоти поверхні. Випарне охолодження є найбільш практичним, корисним та потенційним засобом регулювання тепла від сонячної панелі. Очікувані результати випарного охолодження здаються високими, але лише декілька досліджень адаптували цей метод охолодження.

У даній роботі розглядається нова схема охолодження повітрям сонячних панелей. У роботі використовуються дані минулорічної роботи, у якій представлені розрахунки та схема охолодження сонячних генераторів електричної енергії із використанням атмосферного повітря охолодженого по циклу Майсоценко [2]. Нова схема охолодження додатково використовує ентальпію вологого повітря, що призводить до зниження вартості схеми та ліквідує втрату повітря.

Мета роботи – розробити нову більш ефективну і економічну схему охолодження сонячних панелей із використанням вологого повітря та повітря охолодженого по циклу Майсоценко і запатентувати її.

1. Теоретичні основи циклу Майсоценко

У тепломасообмінному апараті випарного охолодження Майсоценко при протитічному потоці повітря в системі сухих і вологих каналів може бути

[a] zlatabukhonok@gmail.com

отримана висока психрометрична різниця температур. У такому апараті створюються розділені потоки повітря, один з яких зволожується, і два інших – охолоджуються. Процеси тепло- і масообміну, що проходять в такому апараті, близькі до оборотного термодинамічного процесу, тому у ньому досягається максимальний ефект охолодження повітря з мінімальними затратами енергії. Теоретична границя охолодження повітря в противочному апараті непрямого випарного охолодження є температура точки роси. В традиційному апараті випарного охолодження (прямого охолодження) граничною температурою охолодження є температура мокрого термометра охолоджуємого повітря. Використання послідовності апаратів випарного охолодження також дозволяє наблизитись до температури точки роси, але в цьому випадку вартість обладнання різко зростає [3].

Схема елементарної комірки протитічного тепломасообмінного апарату Майсоценко з двома незалежними потоками повітря показна на рис. 1

Зовнішній потік, потрапляючи у сухий робочий канал, охолоджується за рахунок контакту з зворотньою стороною вологого робочого каналу, де відбувається випаровування води. В ідеальних умовах на вході до вологого робочого каналу повітря досягає насиченого стану, а його температура – температури точки роси (т. 3, рис. 1). При випаровуванні в вологому робочому каналі температура повітря, контактуючи з вологою стінкою, і його ентальпія поступово зростають. При русі у вологому каналі повітря зберігає насичений стан (100% вологість), але його абсолютна вологість зростає.

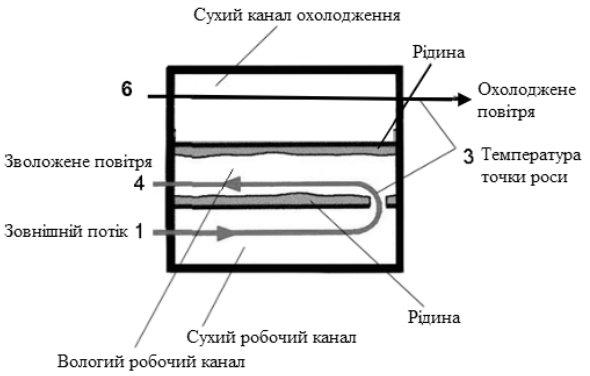

Рис. 1. Елементарна комірка протитічного тепломасообмінного апарату випарного охолодження (точки 1, 3, 4, 6 показані на рис. 2)

Ідеальний цикл Майсоценко представлений на рис. 2 (лінії 1–3–4-1 [1-3, 5, 8]). Тут 1-3 – охолодження повітря в сухому робочому каналі; 3-4: нагрів і зволоження повітря в вологому робочому каналі; $4-1$: повернення повітря у вихідний стан. При початковій температурі повітря 1600F ($71,10°C$) абсолютна вологість повітря в М-циклі становить від $0,025$ до $0,53$ кг/кг, тобто збільшується більше ніж у 20 разів. У М-циклі максимально досяжна вологість повітря у $6,5$ разів більше, ніж за традиційною схемою випарного охолодження ($0,025\ldots\ 0,08$ кг/кг), де вологість збільшується лише в $3,2$ рази.

З рис. 2 слідує, що теоретичне охолодження повітря в М-циклі може складати $45,50°C$ (від $71,10°C$ до $25,60°C$), а при випарному охолодженні (лінія 1–7) – лише $23,90°C$ (від $71,10°C$ до $47,20°C$). Чим вище температура повітря на вході, тим більший ефект охолодження повітря досягається в сухому каналі охолодження. У цьому проявляється одна з найбільш важливих властивостей М-циклу — збільшення його ефективності з ростом температури повітря на вході.

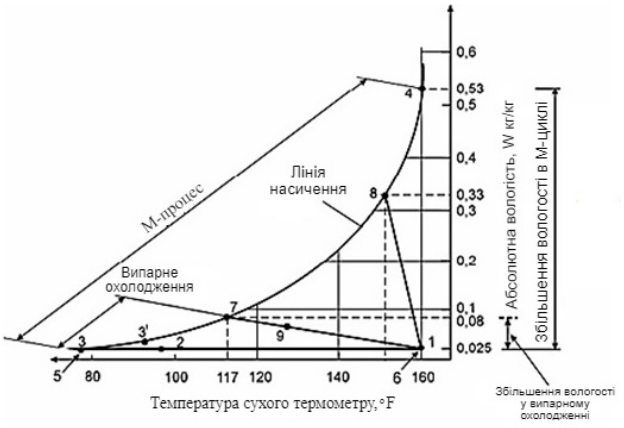

Рис. 2. М-цикл на I-D діаграмі [3]

Таким чином прилади на основі М-циклу можуть використовуватись для генерації холодного повітря і, відповідно, для охолодження зворотньої сторони сонячних панелей. Цикл Майсоценко переважає серед інших методів охолодження, тому що:

- використовується енергія середовища;
- компресор та фреон не використовуються;
- малі витрати енергії на роботу – потрібен тільки вентилятор для подачі повітря у канали тепломасообмінного апарату Майсоценко;
- простота циклу.

Проте, реальний цикл Майсоценко відрізняється від ідеального. Дана властивість розглянута детальніше у Розділі 3.

2. Повітряна схема охолодження сонячних панелей (М-цикл)

У роботі [2] розглядається схема охолодження сонячних панелей із використанням атмосферного повітря (рис. 3). Дана схема складається з двох підсхем: з охолодженим повітрям та насиченим вологим повітрям із температурою навколишнього середовища (t_0), проте надалі сонячні панелі охолоджуються із використанням тільки холодного повітря. Холодне повітря генерується тепломасообмінним апаратом по циклу Майсоценко.

На рис. 3 зображена повітряна схема охолодження: 1 – подача атмосферного повітря з температурою t_0 до вологого каналу апарату Майсоценко, де повітря з температурою t_0 набує 100% вологості та 2 – викидається у атмосферу або 3 – подається на сонячну панель (7), де панель охолодиться методом

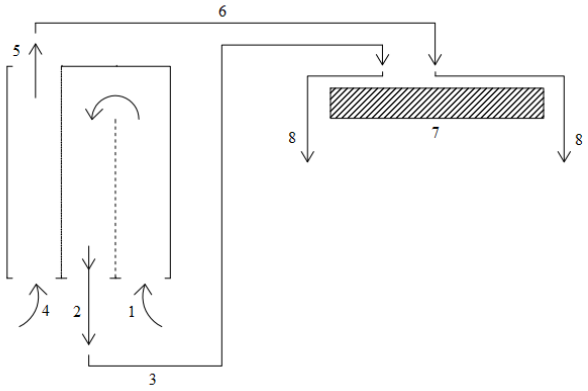

Рис. 3. Повітряна схема охолодження: 1 – вхід у вологий канал тепломасообмінного апарату Майсоценко, 2 – вихід з вологого каналу тепломасообмінного апарату Майсоценко, 3 – канал для подачі вологого повітря до сонячної панелі, 4 – вхід у сухий канал охолодження, 5 – вихід з сухого каналу, 6 – канал для подачі холодного повітря до сонячної панелі, 7 – сонячна панель, 8 – канали подачі повітря споживачу

випарного охолодження; 4 – подача атмосферного повітря з температурою t_0 до сухого каналу апарату Майсоценко, 5 – вихід охолодженого повітря з сухого каналу апарату Майсоценко з температурою $t_{охол}$, 6 – подача охолодженого повітря на сонячну панель (7), 8 – подача повітря споживачу.

Ця схема характеризується простотою реалізації та економічністю. З метою забезпечення рівномірного теплообміну до задньої стінки сонячної панелі прикріплюється алюмінієва пластина, яка проводить та розподіляє тепло. Також, поверх пластини накладаються W-подібні ребра. На рис. 4 зображено канал охолодження.

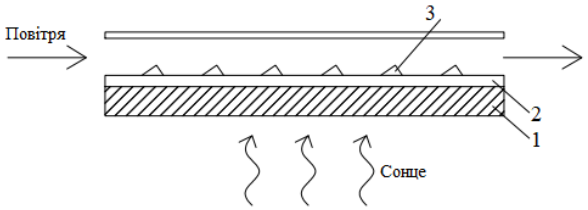

Рис. 4. Канал повітряного охолодження: 1 – сонячна панель, 2 – алюмінієва пластина, 3 – W-подібні ребра

Оскільки канал відносно короткий, то температура холодного повітря не відповідає теоретичній температурі точки роси, а вологе повітря нижче температури атмосферного повітря.

3. Нова схема охолодження сонячних панелей по М-циклу

На виході з тепломасообміного апарату по циклу Майсоценко отримуються два незалежні потоки повітря: охолоджене повітря до температур близьких

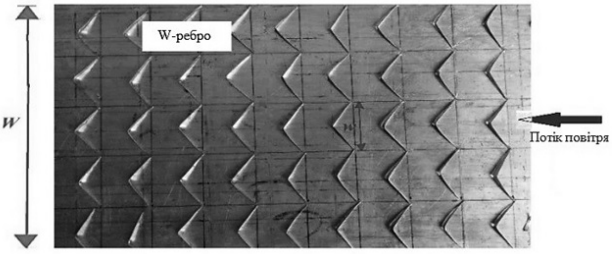

Рис. 5. Вид зверху на зворотню сторону сонячної панелі з W-подібними ребрами [4]

до температури точки роси та потік насиченого повітря з температурою на 4 . . . 5°C нижче температури оточуючого середовища, обидва ці потоки можна ефективно використати для охолодження задньої стінки сонячної панелі [5].

Нова схема охолодження сонячних панелей використовує обидва потоки повітря, що виходять із тепломасообмінного апарату по циклу Майсоценко, чим відрізняється від минулої схеми, у якій використовується тільки повітря охолоджене до температур близьких до температури точки роси. Нова схема охолодження зображена на рис. 6.

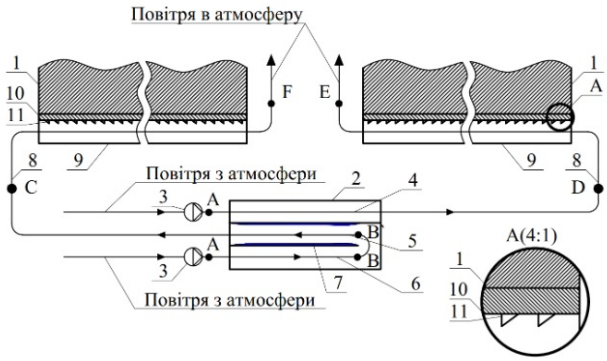

Рис. 6. Нова схема охолодження сонячних панелей: 1 – сонячна панель, 2 – тепломасообмінний апарат непрямого випарного типу по циклу Майсоценко, 3 – вентилятор, 4 – робочий канал, 5 – вологий канал, 6 – сухий канал, 7 – капілярно-пористий матеріал, 8 – повітропровід, 9 – канал охолодження, 10 – алюмінієва пластина, 11 – W-подібні ребра

На рис. 6 вентилятор 3 нагнітає потік атмосферного повітря у робочий канал 4 тепломасообмінного апарату Майсоценко, де атмосферне повітря охолоджується до температури близької до температури точки роси. Далі охолоджений потік направляється по повітропроводу 8 до охолоджуючого каналу 9 розташованого на задній стінці сонячної панелі 1. До задньої стінки сонячної панелі 1 закріплено алюмінієву пластину 10, що забезпечує рівномірний теплообмін. Для інтенсифікації теплообміну поверхні алюмінієвої пластини 10 накладено W-подібні ребра 11.

Другий потік атмосферного повітря подається за допомогою вентилятора 3 у сухий канал 6 тепломасообмінного апарату Майсоценко, де атмосферне

повітря охолоджується до температури близької до температури точки роси. Далі це повітря переходить у вологий канал 5, де нагрівається і зволожується за рахунок контакту із робочим каналом 4. На виході з вологого каналу 5 отримуємо насичене повітря з температурою в середньому на 4...5°C нижче температури атмосферного повітря, яке подається до сонячної панелі 1 аналогічно першому потоку.

Таким чином охолодження сонячної панелі відбувається з використанням охолодженого до температури близької до температури точки роси атмосферного повітря та насиченого повітря з температурою в середньому на 4...5°C нижче температури атмосферного повітря.

На діаграмі (рис. 7) відрізком A – B зображено охолодження повітря у сухому 6 та робочому 4 каналах до температури близької до температури точки роси. Процес B – B‘ виникає при потраплянні повітря із сухого каналу 6 до вологого 5, після чого повітря по лінії насичення зволожується і нагрівається до температури на 4 . . . 5°C нижчої температури атмосферного повітря, – процес B‘ – C. Відрізком A – D зображено охолодження атмосферного повітря у робочому каналі до температури близької до температури точки роси.

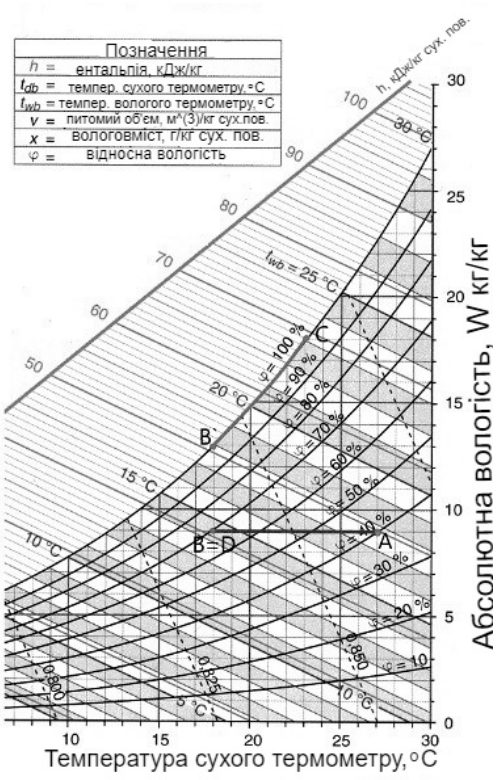

Рис. 7. I – D діаграма [3]

Перевагами даної схеми є більш висока ефективність за рахунок використання ентальпії вологого повітря та більша економічність через відсутність його втрати.

Висновки

Виконаний огляд теоретичних основ циклу Майсоценко. Цикл Майсоценко заснований на використанні психрометричної різниці температур. На виході із тепломасообмінного апарату по циклу Майсоценко отримуються два потоки повітря: холодне повітря із температурою близькою до температури точки роси та насичене вологе повітря із температурою на 4...5°C нижче температури атмосферного повітря. Перевагами цього циклу є простота, економічність та відсутність необхідності у використанні компресору та фреону.

Виконаний огляд схеми охолодження повітрям сонячних панелей із використанням холодного повітря охолодженого по циклу Майсоценко розробленої у 2021 році. Недоліком даної схеми є втрата ефективності із викидом насиченого вологого повітря у атмосферу.

Запропонована нова схема охолодження сонячних панелей із одночасним використанням ентальпії вологого повітря та холодного повітря охолодженого по циклу Майсоценко. Нова схема охолодження сонячних панелей характеризується більшою ефективністю та економічністю за рахунок додаткового використання ентальпії вологого повітря.

На нову схему подано заявку на передбачуваний винахід [5].

Перелік використаних джерел

1. Agency International Renewable Energy. Renewable capacity highlights. — 2022. — Vol. 3. — P. 1–2.
2. Бухонок З. А., Халатов А. А. Термостабілізація сонячно-панельних генераторів електричної енергії з використанням атмосферного повітря охолодженого по циклу Майсоценко // Теоретичні і прикладні проблеми фізики, математики та інформатики. — 2021. — № 6. — С. 71–74.
3. Халатов А. А. Термодинамический цикл Майсоценко и перспективы его применения в энергетических, тепло- и масообменных технологиях. — 2012. — С. 4–9.
4. Kumar Amit, Layek Apurba. Heat transfer measurement in a rectangular channel of solar air heater with Winglet type ribs using liquid crystal thermography // International Journal of Thermal Sciences. — 2021.
5. Ступак О. С., Халатов А. А., Бухонок З. А. Система охолодження сонячної панелі, заявка на винахід №a202201812 від 31/05/2022.