

ЦИКЛ МАЙСОЦЕНКО І НОВІ ЕНЕРГЕТИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

З. А. Бухонок^{1,a}, О. С. Ступак², А. А. Халатов^{1,2}, І. І. Борисов²¹ Навчально-науковий Фізико-технічний інститут² Інститут технічної теплофізики НАН України

Анотація

У статті розглянуті дві енергетичні технології засновані на циклі Майсоценко. Перша технологія розглядає охолодження сонячного генератора для термостабілізації та зменшення ефекту втрати електричної енергії у зв'язку з перегрівом, друга – охолодження стиснутого повітря після компресора, яке йде на охолодження передньої кромки лопаток газової турбіни.

Ключові слова: цикл Майсоценко, охолодження сонячних панелей, охолодження повітря в ГТУ, теплообмінний апарат

Вступ

В сучасних енергетичних газових турбінах температура потоку досягає 1300..1400°C, а максимальна гранична робоча температура металу складає тільки 1100°C. Виникає необхідність охолодження стиснутого повітря між компресором та турбіною для подачі у внутрішню порожнину лопатки газової турбіни. Для цього між компресором і турбіною встановлюється теплообмінний апарат. В даний час використання теплообмінних апаратів не завжди забезпечує необхідний ступінь охолодження. У роботі розглядається можливість використання циклу Майсоценко з ціллю додаткового зниження температури повітря в теплообмінному апараті перед подачею на охолодження лопатки газової турбіни, що забезпечує підвищення потужності турбіни за рахунок збільшення температури потоку за камерою згорання. Оскільки для роботи вентиляторів тепломасообмінного апарату Майсоценко використовуються сонячні панелі, це дозволяє забезпечувати додаткове зниження температури повітря-охолоджувача без витрат електричної енергії та забезпечує вироблення додаткової кількості електроенергії у зв'язку з підвищенням потужності турбіни. Друга енергетична технологія пов'язана з охолодженням і термостабілізацією сонячних панелей, які використовуються для обертання вентилятору апарату Майсоценко. Нова схема охолодження порівняна із попередньою схемою повітряного охолодження сонячних панелей, у якій охолодження відбувалось лише із використанням охолодженого повітря температури точки роси.

Ціль роботи – проаналізувати дві нові енергетичні технології охолодження стиснутого повітря в турбіні і сонячного генератора електроенергії з використанням циклу Майсоценко і визначити можливість їх практичного використання.

1. Охолодження сонячного генератора електричної енергії

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

У роботі [1] розглядається схема охолодження сонячних панелей із використанням охолодженого повітря отриманого із тепломасообмінного апарату Майсоценко (рис. 1). Дана схема складається з двох підсхем: з охолодженням повітрям температури точки роси та насиченим вологим повітрям із температурою навколишнього середовища (t_0), проте надалі сонячні панелі охолоджуються із використанням тільки холодного повітря. Насичене вологе повітря викидається у атмосферу/подається споживачу. Оскільки канал відносно короткий, то температура охолодженого повітря не відповідає теоретичній температурі точки роси, проте близька до неї, а насичене вологе повітря нижче температури атмосферного повітря на 4 – 5°C.

Повітряна схема охолодження зображена на рис. 1: 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); 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 , 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. 2 зображено канал охолодження із W-подібними ребрами (рис. 3).

^azlatabukhonok@gmail.com

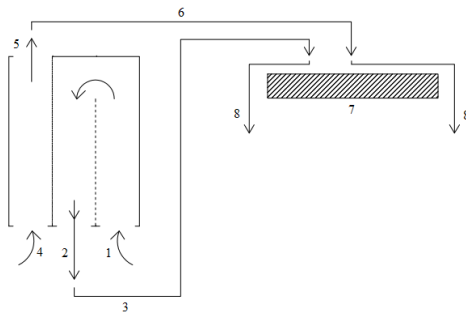


Рис. 1. Повітряна схема охолодження: 1 – вхід у вологий канал тепломасообмінного апарату Майсоценко, 2 – вихід з вологого каналу тепломасообмінного апарату Майсоценко, 3 – канал для подачі вологого повітря до сонячної панелі, 4 – вхід у сухий канал охолодження, 5 – вихід з сухого каналу, 6 – канал для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

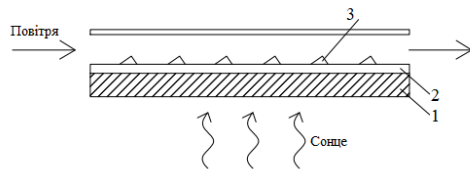


Рис. 2. Канал повітряного охолодження: 1 – сонячна панель, 2 – алюмінієва пластина, 3 – W-подібні ребра [1]

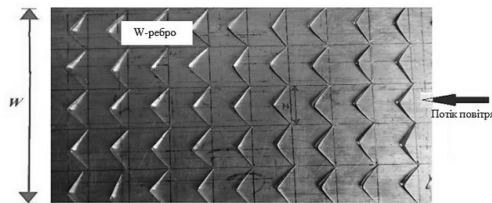


Рис. 3. Вид зверху на зворотню сторону сонячної панелі з W-подібними ребрами [2]

1.2. Нова схема охолодження сонячного генератора електричної енергії по циклу Майсоценко

На відміну від схеми представленої у роботі [1], у новій схемі використовуються два потоки повітря – холодне повітря температури близької до точки роси та вологе повітря температура котрого на $4..5^{\circ}\text{C}$ нижче температури атмосферного повітря [3]. Дані два незалежні потоки повітря генеруються тепломасообмінним апаратом по циклу Майсоценко. Нова схема охолодження сонячних генераторів електричної енергії зображена на рис. 4.

На рис. 4 зображено нову схему охолодження сонячних панелей, які охолоджуються двома незалежними потоками повітря. Атмосферне повітря на-

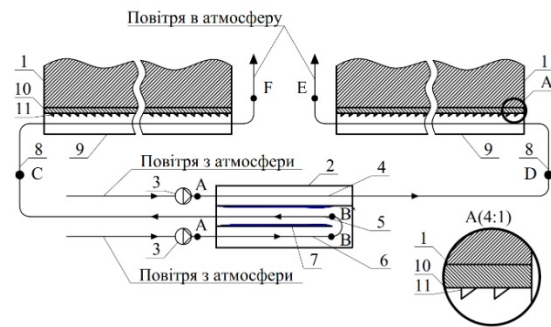


Рис. 4. Нова схема охолодження сонячних панелей: 1 – сонячна панель, 2 – тепломасообмінний апарат непрямого випарного типу по циклу Майсоценко, 3 – вентилятор, 4 – робочий канал, 5 – вологий канал, 6 – сухий канал, 7 – капілярно-пористий матеріал, 8 – повітропровід, 9 – канал охолодження, 10 – алюмінієва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

гнітається вентилятором 3 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 каналу охолодження 9, що розташований на задній стінці сонячної панелі 1. Алюмінієва пластина 10 закріплена до задньої стінки сонячної панелі 1 та забезпечує рівномірний теплообмін. Для інтенсифікації теплообміну у каналі охолодження поверх алюмінієвої пластини 10 накладено W-подібні ребра 11.

Другий потік атмосферного повітря за допомогою вентилятора 3 подається у робочий канал, який складається з сухого та вологого каналів. Атмосферне повітря входить у сухий канал 6 тепломасообмінного апарату Майсоценко, де охолоджується до температури близької до температури точки роси. Далі повітря проходить у вологий канал 5, де нагрівається і зволожується за рахунок контакту із робочим каналом 4. На виході з вологого каналу 5 отримується насичене повітря з температурою в середньому на $4 - 5^{\circ}\text{C}$ нижче температури атмосферного повітря, яке подається по повітропроводу 8 до каналу охолодження 9 сонячної панелі 1.

Отже, сонячні панелі охолоджуються з використанням охолодженого до температури близької до температури точки роси атмосферного повітря та насиченого повітря з температурою в середньому на $4 - 5^{\circ}\text{C}$ нижче температури атмосферного повітря.

Для визначення ефективності даної схеми виконано тепловий розрахунок. Для розрахунку обрано сонячну панель марки KV7-280P (280 Вт) виробництва «Квазар» (Україна). Для даної схеми охолодження сонячних панелей обрано тепломасообмінний апарат по циклу Майсоценко M50B виробництва Coolerado (США). Враховуючи витрату повітря та необхідну потужність для роботи даного тепломасообмінного апарату, виконано тепловий розрахунок сонячних панелей з використанням охолодженого потоку повітря та вологого повітря на $4 - 5^{\circ}\text{C}$ нижче температури

атмосферного повітря. За результатами розрахунку визначено, що дана схема у 2 рази ефективніше попередньої схеми представленої у роботі [1]. Ефективне використання вологого повітря збільшило отриману електричну потужність на 50%. Додатково у схему встановлено вентилятор та акумулятор.

На дану схему подано заявку на винахід №а202201812 від 31/05/2022 [3].

2. Охолодження повітря після компресора в енергетичній газовій турбіні потужністю 25 МВт

Тепломасообмінний апарат по циклу Майсоценко може застосовуватись у чисельних новітніх енергетичних системах. Авторами даної статті запропоновано та розроблено схему з використанням тепломасообмінного апарату по циклу Майсоценко з сонячними панелями у системі ГТУ.

Об'єктом дослідження є стаціонарна газова турбіна М-80 виробництва ДП НВКГ «Зоря-Машпроект» потужністю 25 МВт. У даній схемі відбувається попереднє охолодження повітря відібраного від компресора високого тиску за допомогою апарату по М-циклу з сонячною панеллю з подальшим його поданням на охолодження передньої кромки лопаток газової турбіни. Повітря після компресору розділяється на три потоки. Перший потік повітря, що є основним, поступає до камери згорання. Другий потік відбирається від ступені компресора середнього тиску та подається до штатного теплообмінного апарату, де охолоджується за рахунок передачі теплоти маслопроводу ГТУ та поступає на охолодження елементів газової турбіни. Третій потік відбирається від компресора високого тиску і надходить до додаткового теплообмінного апарату, де охолоджується повітрям від апарату Майсоценко з сонячними панелями та подається на охолодження кромки лопаток газової турбіни.

У схемі використовується компресор, камера згорання, газова турбіна, повітропроводи для відбору повітря від компресора до штатного тепломасообмінного апарату із масляним контуром турбіни та додаткового тепломасообмінного апарату, штатний тепломасообмінний апарат, додатковий тепломасообмінний апарат, апарат Майсоценко, сонячні панелі із W-подібними ребрами, вентилятори, додатковий вентилятор, електрогенератор.

Існуючі дослідження показали, що ефективність ГТУ зростає із зростанням температури та тиску робочого тіла на вході в турбіну. Проте, зріст температури робочого тіла обмежується жаростійкістю матеріалів турбіни, що призвело до технічного рішення - охолодження елементів газової турбіни. Особливістю схеми є плівкове охолодження передньої кромки лопаток газової турбіни повітрям, яке відбирається від компресора високого тиску та попередньо до подачі на лопатки охолоджується у додатковому теплообміннику повітрям отриманим з тепломасообмінного апарату Майсоценко. Робота тепломасообмінного

апарату Майсоценко забезпечується сонячними панелями.

Перевагою схеми є підвищення ефективності ГТУ без додаткових енерговитрат за рахунок вкладень у додаткове обладнання.

2.1. Використання апарату Майсоценко із сонячними панелями у системі охолодження лопаток ГТУ

У схемі охолодження лопатки ГТУ використовується тепломасообмінний апарат Майсоценко, який використовує електричну енергію від сонячних панелей. Один з потоків повітря відбирається із компресора високого тиску і подається у теплообмінник для охолодження попередньо до подачі на охолодження кромки лопаток газової турбіни. Охолодження даного потоку відбувається із використанням холодного повітря отриманого з тепломасообмінного апарату по М-циклу. Таким чином, охолодження відібраного повітря від компресора високого тиску відбувається за рахунок сонячних панелей.

Тепломасообмінний апарат по циклу Майсоценко утворює два потоки повітря – охоложене повітря з температурою близькою до точки роси та вологе повітря на 4..5°C нижче температури атмосферного повітря. Охоложене повітря подається до теплообмінного апарату на охолодження стиснутого потоку повітря відібраного від компресора високого тиску. Вологе повітря подається до каналу охолодження сонячних панелей для зниження ефекту деградації ККД сонячних панелей за рахунок перегріву. До задньої стінки сонячних панелей прикріплюється алюмінієва пластина з W-подібними ребрами для забезпечення рівномірного охолодження та інтенсифікації теплообміну. Охолодження сонячних панелей підвищує отриману електричну потужність та збільшує їх термін роботи.

Для забезпечення електричної потужності необхідної для роботи тепломасообмінного апарату Майсоценко та додаткового вентилятора виконано тепловий розрахунок. В розрахунках використовується українська енергетична газова турбіна М-80 (ДП НВКГ «Зоря-Машпроект», м. Миколаїв) потужністю 25 МВт. При тепловому розрахунку виконаний аналіз різного ступеня охолодження стиснутого потоку повітря в додатковому теплообмінному апараті та визначено необхідну витрату повітря. Розрахунок проведено для двох марок серійного тепломасообмінного апарату Майсоценко М30 і М50В виробництва <<Coolerado>> (США) (враховується різна витрата повітря). Для розрахунку обрано сонячну панель марки KV7-280P (280 Вт) виробництва «Квазар» (Україна). Потік охолодженого повітря поступає до додаткового тепломасообмінного апарату, у той час як потік вологого повітря враховується для визначення швидкості потоку для охолодження сонячних панелей. Для ступеня охолодження повітря у додатковому теплообмінному апараті у діапазоні 10..30°C підібрано необхідну кількість сонячних панелей для

покриття потреб на роботу тепломасообмінного апарату Майсоценко та додаткового вентилятору із врахуванням впливу охолодження на деградацію ККД сонячних панелей. Підібрано оптимальну схему охолодження з оптимальною кількістю рядів для ефективного охолодження та помірної втрати тиску потоку у каналі охолодження.

2.2. Розрахунок додаткового теплообмінного апарату

Загальна схема додаткового теплообмінного апарату у якому відбувається охолодження стиснутого повітря відібраного від компресора високого тиску для подальшої подачі на охолодження кромки лопаток газової турбіни зображено на рис. 5. Схему теплообмінного апарату з поперечним обтіканням трубних пучків з U-подібними трубами зображено на рис. 6.

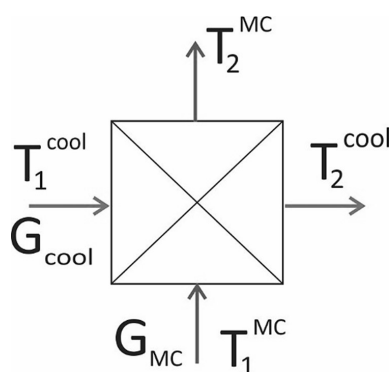


Рис. 5. Загальна схема додаткового теплообмінного апарату: σ_{MC} – потік повітря із апарату Майсоценко, T_1^{MC} – температура охолодженого повітря на виході з апарату Майсоценко, T_2^{MC} – температура повітря на виході з теплообмінного апарату (викидається у атмосферу), σ_{cool} – потік стиснутого повітря відібраного від компресора високого тиску, T_1^{cool} – температура стиснутого повітря відібраного від компресора високого тиску, T_2^{cool} – температура стиснутого повітря охолодженого у теплообмінному апараті, що подається на охолодження лопаток газової турбіни

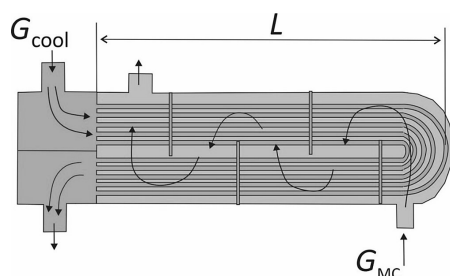


Рис. 6. Схема теплообмінного апарату з поперечним обтіканням трубних пучків з U-подібними трубами: σ_{MC} – потік повітря від апарату Майсоценко, σ_{cool} – потік стиснутого повітря всередині труб, що подається на охолодження лопаток газової турбіни

Як видно із схеми (рис. 5) для охолодження повітря відібраного від компресора високого тиску використовується повітря із тепломасообмінного апарату Майсоценко. Виконано розрахунок для визначення впливу на потужність газової турбіни охолодження стиснутого повітря у теплообмінному апараті із ступенем охолодження $\Delta T = 10..30^\circ\text{C}$. Найоптимальнішим варіантом охолодження виявився ступінь охолодження повітря рівний $\Delta T = 20^\circ\text{C}$ і $\Delta T = 25^\circ\text{C}$.

Для даного ступеня охолодження розраховано підвищення потужності газової турбіни та економічний ефект (річний виторг). Зниження температури повітря-охолоджувача на $\Delta T = 20^\circ\text{C}$ підвищує потужність турбіни на 1,44% (+2522,8 МВт·год) за рахунок підвищення температури потоку на таку ж величину, що збільшує річний виторг електроенергії на 1,22 млн грн. Зниження температури повітря-охолоджувача на $\Delta T = 25^\circ\text{C}$ підвищує потужність турбіни на 1,8% (+3153,6 МВт·год), що збільшує річний виторг на 1,53 млн грн.

Висновки

Розглянуті дві нові схеми: охолодження стиснутого повітря-охолоджувача в енергетичній газовій турбіні і сонячної панелі, що використовується для виробництва електричної енергії. В результаті аналізу можна зробити наступні висновки: 1) Показано, що при зниженні температури повітря на 20°C і 25°C додатково вироблена електроенергія складає 2522,8 МВт·год і 3153,6 МВт·год відповідно, що еквівалентно додатковому економічному ефекту 1,22 млн грн і 1,53 млн грн. На дану схему оформлюється заявка на винахід; 2) У результаті теплового розрахунку визначено, що запропонована нова схема охолодження у два рази ефективніша за попередню схему із використанням тільки охолодженого повітря з температурою точки роси. Обґрунтована нова схема охолодження сонячних панелей, на котру подана заявка на винахід №а202201812 від 31/05/2022.

Перелік використаних джерел

1. Бухонко 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.
2. Kumar A., Layek A. 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.
3. Система охолодження сонячної панелі, заявка на винахід №а202201812 / З. А. Бухонко, О. С. Ступак, А. А. Халатов. — 31.05.2022.