

ТЕРМОДИНАМІЧНИЙ ЦИКЛ ПОВІТРЯНОЇ ГАЗОВОЇ ТУРБИНИ ДЛЯ УТИЛІЗАЦІЇ ТЕПЛОТИ НА ГАЗОТРАНСПОРТНІЙ СИСТЕМІ УКРАЇНИ

В. Ю. Туряб¹, С. М. Пономаренко¹

¹Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

Анотація

Досліджено теплофізичні характеристики та проаналізовано термодинамічні параметри установки повітряного циклу для виробництва електричної енергії за рахунок утилізації теплоти за приводними газотурбінними установками (ГТУ) газотранспортної системи (ГТС) України з метою побудови реального термодинамічного циклу цієї установки.

Ключові слова: цикл Брайтона, газотурбінна установка, газотранспортна система

Вступ

В даний час утилізація низькопотенційної теплоти на ГТС України практично не застосовується. Але технічний потенціал теплоти, яка викидається становить близько 2000 МВт встановлених потужностей. За рахунок перетворення цієї енергії, з'являється можливість не тільки забезпечити власні енергетичні потреби компресорних станцій (115 МВт встановлених потужностей), але і можливість продавати електроенергію іншим споживачам.

Принциповою різницею циклу з повітряною теплоутилізуючою турбінною установкою (ПТТУ), в порівнянні з тими, що вже використовуються, а саме газопаротурбінних установок (ГПТУ), установок, які працюють за циклом Ренкіна, а також тригенерацийних утилізаційних установок є робоче тіло, яке в даному випадку являє собою атмосферне повітря.

Переконливими аргументами на користь такого теплоносія є його вибухо- і пожежо- безпека, екологічність, а також можливість використання відкритої схеми утилізаційного повітряного циклу. Відмова від використання агресивних і корозійноактивних рідин і газів та невисокий рівень термодинамічних параметрів робочого процесу ПТТУ дозволяють застосовувати в складі їх конструкції недорогі конструкційні матеріали та відносно дешеву у виробництві неохолоджувану повітряну турбіну.

1. Схема ГТУ з ПТТУ

Для побудови термодинамічного циклу будемо використовувати найпростішу схему ГТУ з ПТТУ, представлену на (рис. 1). Вона складається з газотурбіної і утилізаційної частин з термодинамічним зв'язком між ними через теплообмінний апарат (ТА) [1].

2. Вибір серійного ГТД та компресора

Для забезпечення підігріву повітря в теплоутилізаційному циклі температура на виході із ГТУ повинна досягати якомога більших значень. Це забезпечує прийнятні значення ККД і потужності ПТТУ. Тому

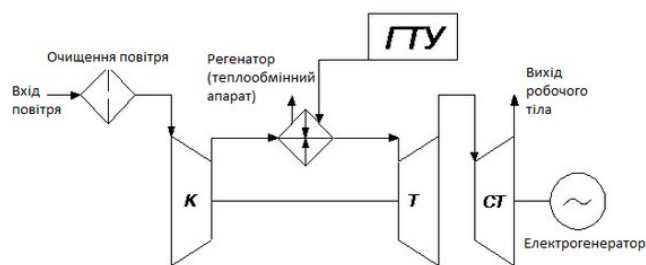


Рис. 1. Схема ПТТУ

для аналізу термодинамічних параметрів циклу перспективної ПТТУ, в якості основної ГТУ розглядалися установки типу ГПА-25С (ДН-80) потужністю 25 МВт, які мають більш високу температуру вихідних газів (480°C) і більшу витрату газу на виході з турбіни ($G = 87.5 \text{ кг/с}$). Такі параметри гарячого газу на виході з основної приводної ГТУ дозволять отримати досить високий ступінь підігріву повітря в циклі, а, отже, і високу потужність і ККД корисної роботи циклу ПТТУ. При виборі компресора для ПТТУ основними критеріями є високі значення ККД компресора, великий запас газодинамічної стійкості, мінімальні маса і його розміри, а також висока надійність в процесі експлуатації. В якості базового компресора для використання в складі турбокомпресорної частини перспективної теплоутилізаційної установки повітряного циклу пропонується використовувати компресор низького тиску знятого з виробництва ГТУ ДЖ-59. Він має гарні газодинамічні характеристики і високі значення ККД.

3. Математична модель ПТТУ, що розраховується

Розрахунок турбовальних ПТТУ з силовою турбіною простого циклу Брайтона проводився за методикою термодинамічного і газодинамічного розрахунку газотурбінного двигуна відкритої схеми з використанням ТА [2] для підведення тепла замість камери згоряння. При цьому питома теплоємність повітря

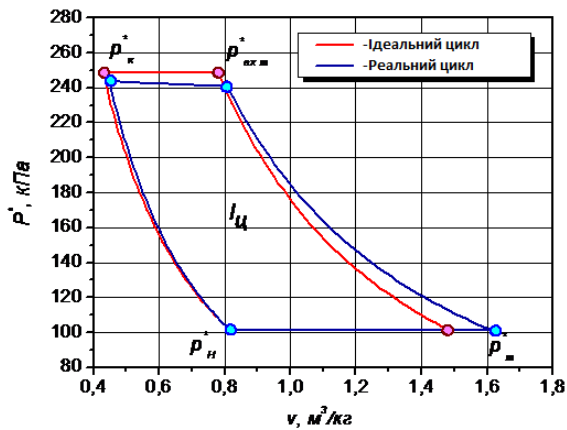


Рис. 2. Ідеальний та реальний цикли ПТТУ в $p - V$ координатах

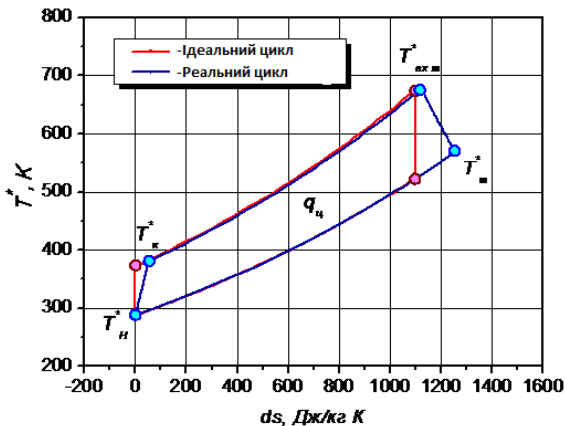


Рис. 3. Ідеальний та реальний цикли ПТТУ в $T - S$ координатах

вважається незмінною. Тиск робочого тіла на виході з силової турбіни вибрано з умови $p_m = 1,03p_n$, де p_n – нормальний тиск.

На підставі проведених розрахунків всіх параметрів робочого тіла, а саме повітря виконуємо розрахунок показників політропи характерних процесів циклу, а саме стиснення повітря в компресорі, підведення тепла в ТА, розширення газу в турбіні а також умовний процес відведення тепла в атмосферу.

За знайденими значеннями показників політропи процесів далі розраховуються константи для рівняння політропних процесів ($pv^n = const$), потім криві процесів, необхідні для побудови діаграм циклу в $p - V$ та $T - S$ координатах.

Математична модель ГТУ реалізована на алгоритмічній мові Fortran 90 в середовищі Compaq Visual Fortran 6.6. Розроблена математична модель дозволяє виконати аналіз циклу ПТТУ а також проводити вибір оптимальних параметрів його робочого процесу для проектованої ПТТУ з силовою турбіною простого повітряного циклу Брайтона.

4. Результати роботи

За обраними в результаті дослідження циклу ПТТУ параметрами її робочого процесу з використанням розробленої математичної моделі були розраховані і побудовані $p - V$ та $T - S$ діаграми ідеального і реального (політропного) циклів, які представлені на рис. 2, 3.

Висновки

За різними оцінками середнє значення ККД ГТУ експлуатованих на ГТС України становить 25%, при цьому, в навколишнє середовище з газами, що виходять, викидається 75% первинної теплової енергії паливного газу. Використання викидної теплоти в теплоутилізаційних установках всієї ГТС України дозволило б виробляти від 0.618 до 1.287 млрд. кВт·год додаткової енергії на рік у діапазоні значень повного ККД теплоутилізаційних установок $\eta = 6, 0..12, 5\%$.

В зв'язку з цим, розглянуто та проаналізовано можливі способи утилізації викидної теплоти за ГТУ ГТС України. На основі проведеного аналізу в даній роботі запропонована перспективна схема утилізації викидної теплоти за ГТУ ГТС з використанням теплоутилізаційних турбінних установок повітряного циклу на основі серійних компресорів або тих, що знімаються з експлуатації ГТУ, з неохолоджуваною повітряною турбіною.

Вибраний серійний компресор для ПТТУ, призначеної для спільної роботи з приводної ГТУ потужністю 25 МВт. Показано, що компресор низького тиску, що знімається з експлуатації двигуна ДЖ-59, є найкращим для використання в складі повітряної теплоутилізаційних турбінної установки.

Розроблено математичну та комп'ютерну модель ідеального (адіабатного) і реального (політропного) циклів ПТТУ для утилізації низькопотенційної викидної теплоти за ГТУ ГТС, а також виконаний аналіз їх термодинамічних параметрів за якими були побудовані $p - V$ та $T - S$ діаграми ідеального і реального (політропного) циклів.

Перелік використаних джерел

1. Кучеренко О. С., Мовчан С. Н., Филоненко А. А., Кузнецов В. В., Шевцов А. П. Перспективы создания и применения воздушных турбинных теплоутилизующих установок // Вестник НТУ «ХПИ». Сборник научных трудов. – Харьков. – 2008, – №38. – с. 89–96.
2. Нечаев Ю. Н., Федоров Р. М. Теория авиационных двигателей. Ч.2. – М. «Машиностроение», 1978. – 513 с.