

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ККД СИЛОВОЇ ТУРБІНИ НА РОБОТУ ПОВІТРЯНОЇ ТЕПЛОУТИЛІЗУЮЧОЇ ТУРБІННОЇ УСТАНОВКИ

В. Ю. Туряб¹, С. М. Пономаренко¹

¹ Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

Анотація

Дослідження шляхів підвищення ефективності роботи установки повітряного циклу, що служить для утилізації теплоти за приводними газотурбінними установками (ГТУ) на газотранспортній системі (ГТС) України з метою доцільного їх використання та економії наявних ресурсів без залучення нового обладнання, що є економічно затратним.

Ключові слова: газотранспортна система, утилізація теплоти, повітряна теплоутилізуюча турбінна установка, перерозширення повітря

Вступ

Газотранспортна система України є одною з найбільш важливих галузей в економіці країни, а тому догляд за її ефективною працею є вкрай актуальним питанням сьогодення. Компресорні станції, що встановлені на магістральному газопроводі та служать для підвищення тиску газу з метою зменшення його обсягів, на сьогодні у 82 % випадків живляться завдяки газотурбінним двигунам (ГТД). Основною проблемою є низька економічність та ККД застарілих двигунів, що складає лише 23 – 25 % та на 10 % нижче за показники аналогічних двигунів зарубіжжя. Пояснити це можна тим, що біля 70 % газотурбінних апаратів (ГПА) з газотурбінним приводом уже практично виробили свій ресурс (100 тис. годин). Подальша експлуатація фізично зношених та конструкційно застарілих ГТД може призвести до нездатності ГТС України забезпечувати надійну подачу природного газу всередині країни і його транзит до Європи. В пошуках вирішення цієї проблеми спеціалісти звернулися до утилізації продуктів згорання з наявною температурою 600...800 К, що виходять з робочого тракту. В цій роботі буде запропонована утилізаційна повітряна схема, розглянуті конструкційні удосконалення цієї установки шляхом перерозширення повітря та вплив ККД силової турбіни на загальну ефективність.

1. Установка

Наразі існує багато способів та установок для збільшення ККД шляхом утилізації теплоти. В даній роботі запропоновано використання найбільш безпечної з них, яка не вимагає додаткового робочого тіла, адже в його якості виступає повітря. На рис. 1 представлена схема газотурбінного привода (ГТП) з утилізуючою установкою, що використовується. Вона складається з газотурбінної частини (1) і повітряної теплоутилізуючої турбінної установки (ПТТУ) з

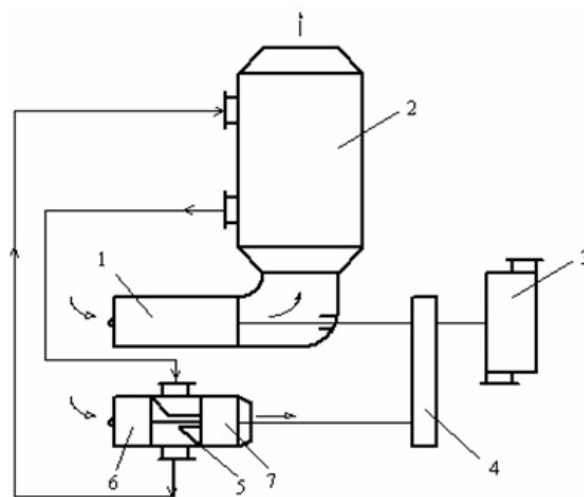


Рис. 1. Типова схема ГТП з повітряною теплоутилізуючою турбінною установкою (ПТТУ) на компресорній станції

термодинамічної зв'язком між ними через теплообмінний апарат (ТА) (2).

ПТТУ включає в себе компресор (6) з відводом повітря, ТА (2), турбіну (7) з підведенням повітря, систему трубопроводів. ТА (2) встановлений на вихлопі ГТД (1), де тепла енергія газу, що минає ГТД використовується для нагріву повітря – робочого тіла ПТТУ. Повітря після ТА (2) надходить на турбіну ПТТУ (7), де його потенційна енергія перетворюється в механічну роботу, витрачену на привід компресора ПТТУ (6) і через редуктор (4) на привід нагнітача природного газу (3). У тому випадку, якщо на КС потрібна електрична енергія, то ПТТУ може наводити не нагнітач, а електрогенератор [1].

Як вже було зазначено, переконливими аргументами на користь установки є вибір теплоносія, що є вибухо- і пожежобезпечним, доступним, екологічним, а також з можливістю використання відкритої схеми утилізаційного повітряного циклу. Відмова від

використання агресивних і корозійноактивних рідин і газів і невисокий рівень термодинамічних параметрів робочого процесу ПТТУ дозволяють застосовувати в складі їх конструкції недорогі конструкційні матеріали і дешево у виробництві неохолоджувальну повітряну турбіну.

2. Вплив ККД турбіни

Оскільки повітряна турбіна у складі ПТТУ повинна бути спроектована на задане розрахункове значення витрати повітря, представляє інтерес оцінка впливу ККД силової турбіни ПТТУ на ефективність її роботи а також на всю енергетичну установку.

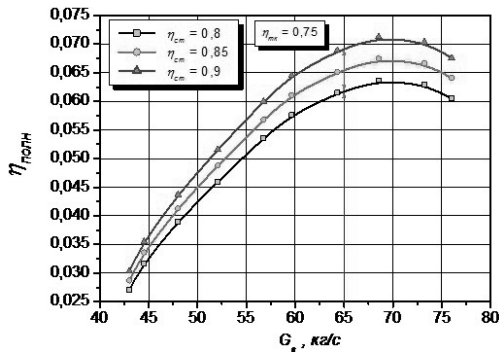


Рис. 2. Залежність повного ККД ПТТУ від витрати повітря через ПТТУ для різних значень ККД силової турбіни при постійному значенні ККД турбіни компресора.

На рис. 2 показані залежності повного ККД ПТТУ від витрати повітря через ПТТУ для різних значень ККД силової турбіни при постійному значенні ККД турбіни компресора. Всі криві, відповідні різним значенням ККД силової турбіни мають максимум. Робоча точка знаходиться в області витрат, менших оптимального на величину 5 кг/с. В розрахунковій точці повний ККД ВТТУ знаходиться в межах 0,062...0,069, тобто з ростом ККД силової турбіни до значення 0,9 повний ККД ВТТУ зростає на 11 %.

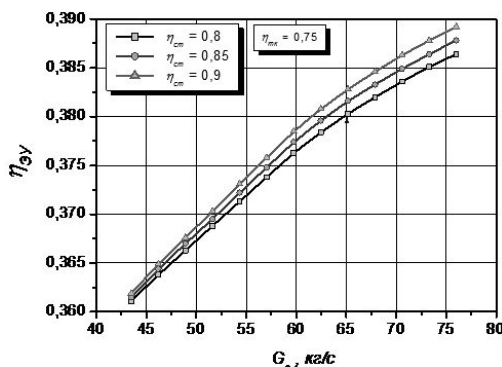


Рис. 3. Залежність повного ККД енергетичної установки з ПТТУ від витрати повітря через ПТТУ для різних значень ККД силової турбіни при постійному значенні ККД турбіни компресора.

На рис. 3 показані залежності повного ККД енергетичної установки з ПТТУ від витрати повітря через

ПТТУ для різних значень ККД силової турбіни при постійному значенні ККД турбіни компресора. З ростом витрати повітря через ПТТУ повний ККД енергетичної установки монотонно зростає і незначно збільшується з ростом ККД силової турбіни. У робочій точці, що відповідає витраті повітря 65 кг/с, повний ККД енергетичної установки з ПТТУ при збільшенні ККД силової турбіни від величини 0,8 до 0,9 зростає від 38 до 38,28 %, тобто зростає всього на 0,7 %.

3. Перерозширення повітря на виході з ПТТУ

Газотурбінні двигуни і установки з перерозширенням робочого тіла в силовій турбіні найбільш доцільні при температурах на вході в турбіну $T_T = 1500...1800$ К [2]. Однак цей фактор не знижує актуальності даного способу і сучасність всіх його численних модифікацій.

При встановленні вакуумуючого агрегату за силовою турбіною досягається тиск нижче навколишнього середовища, що збільшує тепловий перепад на силовій турбіні ГТД. Сам агрегат може бути встановлений практично за будь-яким типом ГТД, як з метою створення вакууму, так і безпосередньо для виробництва роботи. Найбільш простим способом забезпечення перерозширення в силовій турбіні ПТТУ є встановлення на виході патрубка виконаного у вигляді дифузора.

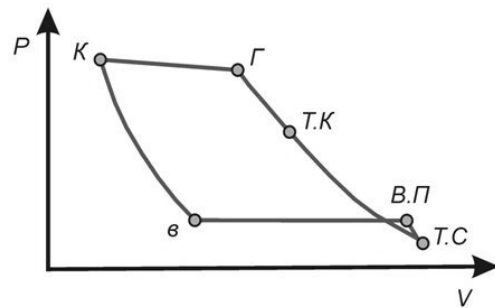


Рис. 4. Робочий процес ВТТУ з перерозширенням в силовій турбіні у $p - V$ – координатах.

На рис. 4 представлені наступні ділянки циклу: $v - K$ – стиснення повітря в компресорі; $K - \Gamma$ – підведення теплоти в теплообміннику; $\Gamma - T.K$ – розширення повітря в турбіні компресора; $T.K - T.C$ – розширення повітря в силовій турбіні; $T.C - B.П$ – стиснення повітря в вихлопному патрубку.

Тобто за рахунок того, що ми зменшуємо тиск нижче атмосферного, ми маємо додаткову енергію.

На рис. 5 представлена залежність повного ККД ПТТУ від витрати повітря для різних значень коефіцієнта перерозширення в силовій турбіні ПТТУ. З рис. 5 видно, що зменшення значення коефіцієнта перерозширення в силовій турбіні призводить до зростання ККД. Так при зниженні тиску за силовою турбіною на 3 % в порівнянні з атмосферним тиском ($K_p = 0,97$) повний ККД зростає на 18 %. Таким

чином, повний ККД ПТТУ в розрахунковій точці досягає значення 7,3 %.

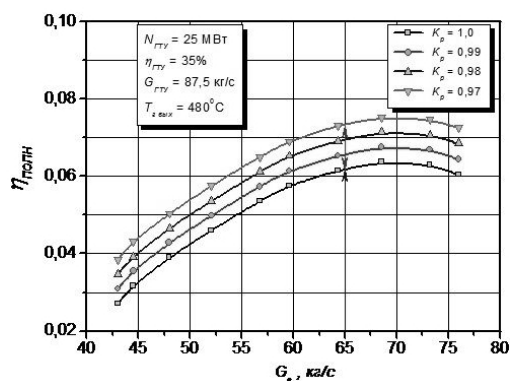


Рис. 5. Залежності повного ККД ПТТУ від витрати повітря для різних значень коефіцієнта перерозширення в силовій турбіні ПТТУ.

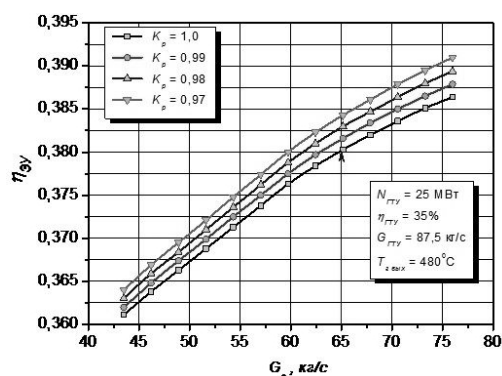


Рис. 6. Залежності ККД енергетичної установки з ПТТУ від витрати повітря через ПТТУ для різних значень коефіцієнта перерозширення в силовій турбіні ПТТУ.

На рис. 6 представлені залежності ККД енергетичної установки з ПТТУ від витрати повітря через

неї для різних значень коефіцієнта перерозширення в силовій турбіні ПТТУ. З аналізу залежностей випливає, що з ростом перерозширення в силовій турбіні ККД енергетичної установки з ПТТУ збільшується. Зокрема, для перерозширення в обраній розрахунковій точці при зниженні тиску на виході з силової турбіни на 3% в порівнянні з тиском атмосфери повний ККД енергетичної установки з двигуном ДН-80 (з ККД 35 %) зростає на 1,1 % і досягає значення 38,43 %.

Висновки

В даній роботі представлена принципова схема роботи ГТД з повітряною утилізацією та обумовлені причини її використання. В роботі досліджені два перспективних способу підвищення ефективності роботи ПТТУ (перерозширення повітря в силовій турбіні і підвищення ККД силової турбіни). Показано, який внесок вони роблять як на ефективність ПТТУ, так і на всю енергетичну установку.

Так при перерозширенні повітря в силовій турбіні ПТТУ в обраній розрахунковій точці при зниженні тиску на виході з силової турбіни на 3 % в порівнянні з тиском атмосфери повний ККД енергетичної установки з двигуном ДН-80 (з ККД 35 %) зростає на 1,1 % і досягає значення 38,43%. Показано, що з ростом ККД силової турбіни до значення 90 % ККД енергетичної установки зростає на лише на 0,7 %, і досягає значення 38,28 % що робить економічно менш ефективною цей метод, ніж перерозширення.

Перелік використаних джерел

1. Арсеньев Л. В., Тырышкин В. Г. Газотурбинные установки: конструкция и расчёт. // Справочное пособие. — Л.: Машиностроение, 1978. — 232 с.
2. Перельштейн Б. Х. Новые энергетические системы // Изд-во Казан. гос. техн. ун-та. — Казань, 2008. — 244 с.