

*І.І. Гвоздецький, к.т.н.,  
Л.Г. Волянська, к.т.н.,  
І.Г. Бабічев, аспірант  
(Національний авіаційний університет, Україна)*

## **Підвищення паливної ефективності конвертованого авіаційного турбовального двигуна**

*Показані шляхи підвищення паливної ефективності наземних ГТУ, створюваних для енергетики на базі авіаційних двигунів. Наведена оцінка впливу регенерації тепла відхідних газів і ступеня попереднього підігріву палива на ефективність газотурбінних установок. Проведеними розрахунками показано, що загальний ефект від цих двох заходів може істотно підвищити внутрішній коефіцієнт корисної дії газотурбінної установки.*

Конвертування у техніці є однією із найважливіших завдань розвитку економіки. Конвертовані газотурбінні двигуни широко застосовуються в енергетиці, в нафтовій та газотранспортній галузі. Цим двигунам притаманні висока економічність та експлуатаційна технологічність. Застосування їх як наземних установок для народного господарства у ряді випадків дозволяє отримувати принципово нові техніко-економічні рішення та досягати результатів, які не можуть бути отримані при використанні установок загальнопромислового типу.

Проблема підвищення паливної ефективності газотурбінних двигунів, які застосовуються в наземних газотурбінних установках, має особливе значення. З одного боку, це важливий чинник підвищення економічних показників підприємства. З іншого боку, зменшення кількості палива, що спалюється, призводить до зменшення викидів в атмосферу продуктів згоряння, що знижує шкідливу дію двигунів на навколишнє середовище.

Відомі різні шляхи вирішення проблеми підвищення паливної ефективності наземних газотурбінних установок. Серед них основним є підвищення параметрів робочого процесу і насамперед ступеня підвищення тиску в циклі, температури газу перед турбіною, а також підвищення коефіцієнтів корисної дії компресора, камери згоряння та турбіни [1]. Всі ці способи, безперечно, можуть бути ефективними при проектуванні нових газотурбінних установок, проте вони вимагають застосування нових і дорогих матеріалів для виготовлення конструктивних елементів ГТУ. Стосовно газотурбінних установок, створюваних на базі авіаційних газотурбінних двигунів, найбільш прийнятним способом підвищення паливної ефективності є застосування складних циклів їх роботи [2].

У цій роботі розглядається два способи вирішення задачі підвищення паливної ефективності наземних ГТУ, створюваних на базі авіаційних турбогвинтових і турбовальних двигунів, що відпрацювали льотний ресурс: застосування регенерації тепла відпрацьованих газів, що виходять з двигуна, і попередній підігрів палива перед його подачею в камеру згоряння.

Було проведено оцінку впливу регенерації тепла підвищення термічного ККД циклу ГТУ, створеної з урахуванням турбогвинтового двигуна. Проведеними розрахунками з використанням теплофізичних властивостей робочого тіла показано, що застосування регенерації тепла газів, що виходять з

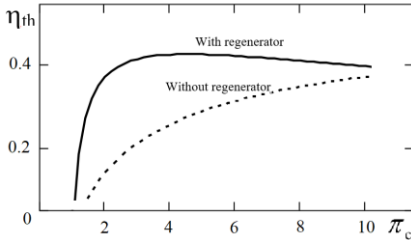


Рис.1. Термічний ККД циклу без регенерації теплоти та циклу з регенерацією теплоти

турбіни, підвищує термічний коефіцієнт корисної дії циклу рис. 1.

З метою зменшення витрати палива, що подається в камеру згоряння, його попереднє підігрів пропонується здійснювати за рахунок використання вторинних енергоресурсів, а саме за рахунок утилізованої теплоти відпрацьованого

газу, що виходить із турбіни двигуна [3]. Під час створення та доведення конвертованих ГТД за параметрами необхідно вирішувати завдання використання альтернативних видів палива. Виходячи з цього дослідження проводилося для рідкого та газоподібного палива.

Підігрів палива веде до збільшення ентальпії палива і дозволяє зменшити його витрату, як видно з виразу:

$$\eta_{GTU} = \frac{N}{G_f Q_f^L + G_f h} \quad \eta_t = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

де  $\eta_t$  - ККД газотурбінної установки,  $Q_1$  і  $Q_2$  - кількість тепла, підведеного до робочого тіла в робочому циклі і втраченого з газами, що виходять, а також внаслідок неповноти згоряння палива і внаслідок теплопередачі в конструктивні елементи,  $G_f$  - витрата палива;  $Q_f^L$  - нижча температура згоряння палива;  $h$  - ентальпія палива.

Під час підігріву палива вихлопними газами ГТУ підігрівач встановлюється на відгалуженні від вихлопного тракту, тобто на байпасі, що дозволяє регулювати витрату вихлопних газів через підігрівач і навіть повністю його відключати.

Для оцінки впливу регенерації та підігріву паливного газу проведено визначення потужності, ККД, витрати палива для:

- установки базового варіанту,
- установки з регенерацією тепла,
- установки з регенерацією тепла та з підігрівом палива.

Як об'єкт дослідження було обрано газотурбінну установку, яка базується на використанні авіаційного турбувального двигуна PW-6A канадської фірми «PRATT & WHITNEY», який відпрацював свій льотний ресурс, з додаванням до його схеми здвоєного теплообмінника, який служить як для підігріву стисненого в компресорі повітря перед його надходженням в камеру згоряння, так для попереднього підігріву палива.

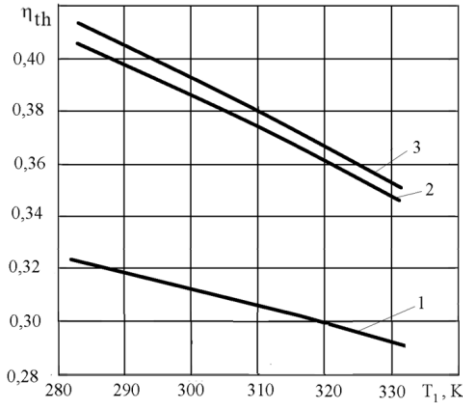


Рис.2. Залежність термічного ККД від температури повітря  $T_1$  на вході в компресор: 1-основной цикл Брайтона; 2- цикл с регенерацией; 3- цикл с регенерацией и подогревом топлива

регенератії. Цей ефект більш помітний за низьких температур навколишнього середовища. Вплив попереднього підігріву палива на термічного ККД може досягати приблизно 1%, особливо при низьких температурах навколишнього повітря. За високих температур навколишнього середовища цей ефект значно зменшується.

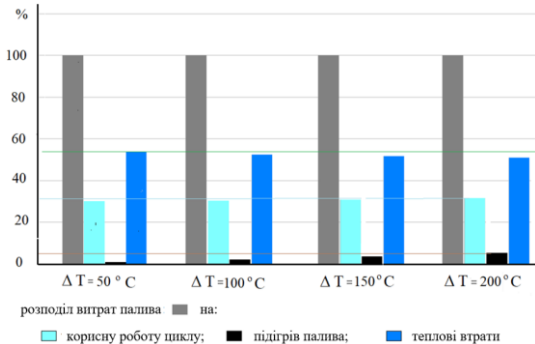


Рис.3. Порівняльна оцінка розподілу витрат палива

Було проаналізовано вплив підігріву палива та регенерації теплоти для різних значень ступеня регенерації та температури повітря на вході до компресора. Графік, що ілюструє ступінь впливу регенерації тепла та попереднього підігріву палива на термічний ККД ГТУ, наведено на рис. 2. Лінія 1 відповідає ГТУ, що працює за базовим циклом Брайтона, лінія 2 - циклу з регенерацією тепла, лінія 3 - ГТУ, що працює за циклом з регенерацією тепла та підігрівом палива. Як видно з графіка, найбільший приріст теплового ККД досягається за рахунок

Порівняльна оцінка розподілу витрат палива в ГТУ на корисну роботу циклу, на підігрів палива і на теплові втрати наведена на рис.3. Як видно з діаграм, при нагріванні палива частка палива, що витрачається на корисну роботу циклу, збільшується, а частка палива, пов'язана з втратою тепла з вихлопними газами, зменшується, що зумовлює збільшення палива. ККД ГТУ.

## Висновки

В результаті розрахунків можна зробити такі висновки:

1. Регенерація тепла, підігрів робочого тіла (повітря) після його стиснення в компресорі та перед подачею в камеру згоряння відпрацьованими газами, що виходять з двигуна, є досить ефективним способом підвищення паливної економічності наземних газотурбінних установок, створених на основі авіаційних двигунів, що відпрацьовали свій ресурс на літаках та гелікоптерах.

2. Підігрів рідкого палива з використанням для цього тепла відпрацьованих газів, що виходять із двигуна, сприяє підвищенню коефіцієнта використання палива. Ефект попереднього підігріву палива в такий спосіб проявляється через інтенсифікацію процесу випаровування крапель палива, що розпилюються завихрювальними паливними форсунками, і утворення, таким чином, однорідної паливно-повітряної суміші в зоні горіння камери згоряння.

3. Попередній підігрів газоподібного палива (природний газ) практично не впливає на паливну економічність двигуна та коефіцієнт використання палива, але може бути використаний як спосіб підвищення надійності пуску ГТУ, особливо при її роботі на низьких температурах та низькому тиску навколишнього повітря (у високогірних умовах).

4. Спільне використання тепла відпрацьованих газів, що виходять з двигуна, для підігріву робочого тіла (повітря) після його стиснення в компресорі перед подачею в камеру згоряння та для попереднього підігріву рідкого палива є найбільш раціональним способом підвищення паливної економічності ГТУ, створених на базі авіадвигунів, що відпрацьовали свій ресурс на літаках цивільної авіації.

## Список літератури

1. Гриценко Е.А., Данильченко В.П., Лукачев С.В., Резник В.Е., Цыбизов Ю.И. Конвертирование авиационных ГТД в газотурбинные установки наземного применения (амира: СНЦ РАН, 2004.) - 266 с.

2. Gvozdet'skyi I.I., Volianska L.G., Fakhar Mohammad. Gas Turbine Plant on the Basis of the Converted Aero Engine with Regeneration/ Науковий журнал «Наукоємні технології» ISSN 2075-0781, №2 (42), 2019, 270-279 с.

3. Халатов А.А., Коваленко А.С. Перспективы снижения выбросов теплоты газотурбинными приводами украинской газотранспортной системы. Промышленная теплотехника, Изд. НАН Украины, том 37, №2, 2015.