

УДК 621.43.018

## АДІАБАТИЧНИЙ КОЕФІЦІЄНТ КОРИСНОЇ ДІЇ ПРИ ДІАГНОСТУВАННІ ТУРБІНИ

*Д. В. Кондратьєв*

*вул. Білогородська, буд. 41, кв. 53, м. Боярка, Київська обл., 08153  
НВЦ "Техдіагаз" ДК "Укртрансгаз", вул. Волинська, 56, м. Київ, 03151  
E-mail: [dnk1@meta.ua](mailto:dnk1@meta.ua)*

*Розроблено метод оцінки проточної частини турбіни газотурбінної установки з використанням адиабатичного коефіцієнта корисної дії, що уможлиблює фактичну оцінку технічного стану проточної частини турбіни на внутрішні гідравлічні втрати.*

*Ключові слова:* турбіна, діагностика, коефіцієнт корисної дії

*Разработан метод оценки проточной части турбины газотурбинной установки с использованием адиабатического коэффициента полезного действия, позволяющий выполнить фактическую оценку технического состояния проточной части турбины по внутренним гидравлическим потерям.*

*Ключевые слова:* турбина, диагностика, коэффициент полезного действия

*In the article the method of estimation of running part of turbine of the gas-turbine setting is worked out with the use of adiabatic output-input ratio. The worked out method allows to execute the actual estimation of the technical state of running part of turbine on the account of internal hydraulic losses*

*Keywords:* turbine, diagnostics, output-input ratio

### Вступ

Одними з елементів, що відіграють значну роль в робочому процесі газотурбінної установки є турбіни. Так одна з турбін, яка входить до складу газотурбінної установки, є приводом для компресора, інша служить приводом для відцентрового нагнітача (споживач енергії). Тому в процесі діагностування турбіни газотурбінної установки велику цікавість становить оцінка технічного стану її проточної частини. Так як елементи проточної частини в процесі експлуатації під дією динамічних та термічних навантажень змінюють свої геометричні розміри та аеродинамічні форми, що призводить до погіршення техніко-економічних показників не тільки турбіни, але й всієї газотурбінної установки. Дане погіршення характеризується як несправність, що впливає на ефективність функціонування установки. Несправності такого роду проявляються через зміну контрольних параметрів, зокрема термогазодинамічних, що реєструється штатною апаратурою від встановлених норм.

В якості діагностичної ознаки при діагностуванні турбіни газотурбінної установки стосовно оцінки технічного стану її проточної частини може слугувати адиабатичний (лопатковий) коефіцієнт корисної дії (ККД) турбіни ( $\eta_{ст}$ ). Даний ККД оцінює рівень внутрішніх втрат, а саме: втрати в каналах соплового апарату ( $\zeta_{ca}$ ) і робочого колеса ( $\zeta_{рк}$ ), втрати від перетікання робочого тіла в радіальному зазорі між рухливими лопатками та корпусом турбіни ( $\zeta_3$ ), втрати на тертя між диском та газом ( $\zeta_{тв}$ ) [1-3]:

$$\eta_{ст} = 1 - \xi_{са} - \xi_{рк} - \xi_3 - \xi_{тв} \quad (1)$$

Адіабатичний (лопатковий) ККД оцінює відносну величину гідравлічних втрат у 20біж лопаткових каналах, тобто характеризує економічність і газодинамічну досконалість проточної частини турбіни [1-4].

### **Аналіз досліджень і публікацій**

Аналіз досліджень і публікацій показав, що проблемам оцінки технічного стану проточної частини газотурбінної установки в складі газоперекачувального агрегату присвячені роботи С. П. Зарицького [5,6], А. Г. Вертепова [7], В. В. Гриба [8] та інших. В зв'язку з тим, що в якості приводу для газоперекачувальних агрегатів використовуються конвертовані авіаційні двигуни (їх принцип роботи подібний газотурбінній установці), то був проведений також аналіз досліджень і публікацій оцінки технічного стану проточної частини авіаційних газотурбінних установок. Дане питання знаходить своє відображення в роботах І.В. Кеби [9], Л.П. Лозицького [10] та інших. Даний аналіз показав, що під час експлуатації газотурбінної установки найбільш вдалим напрямом в діагностуванні турбіни стосовно оцінки технічного стану її проточної частини є параметрична діагностика, оскільки параметричний метод легко піддається математичному моделюванню за допомогою класичних методів термогазодинамічного опису процесів, що відбуваються в турбіні.

Таким чином не дивлячись на різноманіття підходів та методів оцінки проточної частини турбіни газотурбінної установки заснованих на параметричній діагностиці, на сьогоднішній день проблема оцінки технічного стану проточної частини турбіни під час діагностування на працюючій газотурбінній установці повністю не розкрита. Отже, в умовах підвищення вимог до підвищення показників надійності, ефективності та ресурсу агрегатів завдання вдосконалення існуючих і створення нових методів діагностування основних елементів газотурбінної установки, в тому числі і турбіни, залишається актуальним.

Додатково був проведений аналіз публікацій стосовно використання адіабатичного (лопатевого) ККД турбіни в якості діагностичної ознаки. В результаті аналізу було з'ясовано, що поняття адіабатичного ККД турбіни використовується лише при проектуванні турбіни газотурбінної установки, хоча його зручно використовувати як діагностичну ознаку під час діагностування турбіни на працюючій газотурбінній установці.

### **Мета роботи**

Метою є розробка методу оцінки проточної частини турбіни газотурбінної установки з використанням адіабатичного ККД.

### **Метод оцінки технічного стану проточної частини турбіни газотурбінної установки**

Зміна технічного стану проточної частини турбіни проявляється у зміні робочого процесу в газоповітряному тракті та відображається, як зазначалось раніше, через термогазодинамічні параметри робочого тіла. До них відносять температуру, тиск, швидкість робочого тіла, його витрату тощо. Але в процесі експлуатації газотурбінної установки виконується замір лише температури та тиску робочого тіла у газоповітряному тракті, тому їх будемо використовувати за основу.

Відповідно до робіт [1-4], адіабатичний (лопатковий) ККД турбіни ( $\eta_{ст}$ ) залежить від температури та тиску загальмованого потоку робочого тіла (газу) на вході в турбіну та статичної температури і тиску на виході з неї:

$$\eta_{ст} = \frac{T_1^* - T_2}{T_1^* \left[ 1 - \left( \frac{P_2}{P_1^*} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]}, \quad (2)$$

де  $T_1^*$ ,  $P_1^*$  – температура та тиск загальмованого потоку на вході в сопловий апарат турбіни;  $T_2$ ,  $P_2$  – статичні температура і тиск на виході з робочого колеса турбіни.

На даний час лише невелика кількість газотурбінних установок оснащені датчиками виміру параметрів на виході з турбіни, в більшості випадків вони відсутні. Для визначення даних параме-

трів використовують складні розрахунки, в основу яких покладений метод енергетичних балансів ГТУ та основи теорії турбін.

Тому, щоб уникнути подібних розрахунків під час експлуатації газотурбінної установки краще використовувати залежності адиабатичного ККД від параметрів загальмованого потоку на вході в турбіну ( $T_1^*$  і  $P_1^*$ ) до параметрів, що визначають режим роботи турбіни в системі двигуна. Особливо це зручно для ГПА марки ГТ-750-6, ГТК-10-2, ГТК-10-4, ГТНР-10 та інших [12].

При погіршенні технічного стану елементів проточної частини турбіни можуть змінюватися частота обертання ротора, температура й тиск на вході в турбіну та інші параметри, що визначають режим роботи турбіни. Щоб врахувати ці зміни, використовують універсальні характеристики турбіни. Одними з основних є залежності параметрів від ступеню зниження тиску в турбіні ( $\pi_{т^*}$ ), параметр витрати газу  $\left( \frac{G_2 \cdot \sqrt{T_1^*}}{P_1^*} \right)$  та відношення частоти обертання до температури на вході в тур-

біну  $\left( \frac{n}{\sqrt{T_1^*}} \right)$ .

Приймаючи до уваги, що під час експлуатації газотурбінної установки дуже важко, а інколи неможливо, виміряти витрату робочого тіла через турбіну, раціонально не використовувати для визначення адиабатичного (лопаткового) ККД залежність від параметру витрати  $\left( \frac{G_2 \cdot \sqrt{T_1^*}}{P_1^*} \right)$ .

Як показує досвід експлуатації, при погіршенні технічного стану проточної частини турбіни і її елементів, як зазначалось вище, відбувається зміна термодинамічних параметрів робочого процесу. Тому для визначення адиабатичного (лопаткового) ККД турбіни буде доцільним використовувати не одну певну залежність адиабатичного (лопаткового) ККД від універсальної характеристики турбін, а мінімум дві:

$$- \eta_{ст} = f\left(\frac{n}{\sqrt{T_1^*}}\right), \quad (3)$$

$$- \eta_{ст} = f(\pi_{т^*}). \quad (4)$$

На рисунках 1 та 2 представлені залежності адиабатичного (лопаткового) ККД турбіни від вище зазначених параметрів.

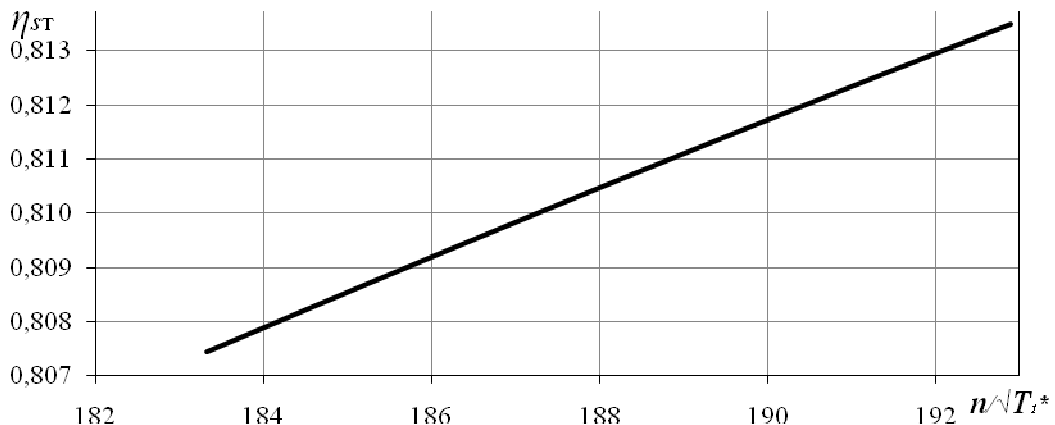


Рисунок 1 – Залежність  $\eta_{ст}$  від  $\left( \frac{n}{\sqrt{T_1^*}} \right)$

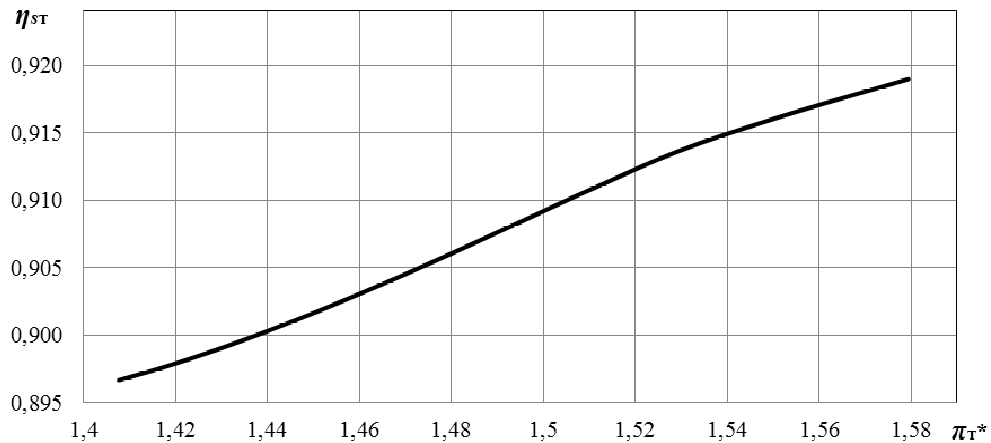


Рисунок 2 – Залежність  $\eta_{ст}$  від  $\pi_{т*}$

Визначення фактичних значень адіабатичного (лопаткового) ККД виконується за характеристиками. Після визначення адіабатичного (лопаткового) ККД турбіни за кожною з характеристик вони порівнюються.

Таким чином, вище описаний метод оцінки технічного стану турбіни газотурбінної установки з використанням адіабатичного (лопаткового) ККД турбіни дозволяє виконати оцінку технічного стану проточної частини турбіни газотурбінної установки.

#### Висновки

1. Обґрунтовано вибір адіабатичного (лопаткового) ККД турбіни як діагностичної ознаки при оцінці економічності та газодинамічної досконалості проточної частини турбіни.

2. Розроблено метод оцінки технічного стану проточної частини турбіни на працюючій газотурбінній установці під час експлуатації з використанням адіабатичного (лопаткового) ККД турбіни, що заснований на визначенні фактичного значення адіабатичного (лопаткового) ККД турбіни та порівнянні його з еталонним (базовим) значенням.

3. Розроблений метод дозволяє виконати фактичну оцінку технічного стану проточної частини турбіни на рахунок внутрішніх гідравлічних втрат.

4. Розроблений метод оцінки технічного стану турбіни не потребує додаткового оснащення газотурбінної установки, оскільки за вхідні дані приймаються параметри робочого процесу, що замірюються штатною вимірювальною апаратурою.

#### Література

1. Абианц В.Х. Теория авиационных газовых турбин / В.Х. Абианц. – М.: Оборонгиз, 1953. – 216 с.
2. Михальцев В.Е. Теория и проектирование газовой турбины: [учеб. пособие. Часть 1: Теория и проектирование ступени газовой турбины] / В.Е. Михальцев, В.Д. Моляков. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 104 с.
3. Михальцев В.Е. Теория и проектирование газовой турбины: [учеб. пособие. Часть 2: Теория и проектирование многоступенчатой газовой турбины] / В.Е. Михальцев, В.Д. Моляков. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 116 с.
4. Холщевников К.В. Теория и расчет авиационных лопаточных машин: [Учебник для студентов вузов по специальности «Авиационные двигатели». 2-е изд., перераб. и доп. ] / К.В. Холщевников, О.Н. Емин, В.Т. Митрохин. – М.: Машиностроение, 1986. – 432 с.
5. Зарицкий С.П. Диагностика газоперекачивающих агрегатов: [учеб. пособие. Часть I] / С.П. Зарицкий. – М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2003. – 177 с.
6. А.с. 805104. СССР. МКИ G 01 M 15/00. Способ определения технического состояния газотурбинного газоперекачивающего агрегата / С.П. Зарицкий, В.А. Щуровский, В.С. Деев, В.И. Корнеев (СССР). – № 2688654/25-06 ; заявл. 29.11.78 ; Опубл. 15.02.81. – 4 с. : ил.

7. Вертепов А.Г. Параметрическое диагностирование проточной части газотурбинных установок и центробежных нагнетателей: [ обз. информ. Сер. Транспорт и подземное хранение газа. Вып. 4 ] / А.Г. Вертепов, С.П. Зарицкий– М.: ВНИИЭгазпром, 1989. – 46 с.

8. Анализ современных методов диагностирования компрессорного оборудования нефтегазохимических производств / [Гриб В.В., Соколова А.Г., Еранов А.П. и др.] // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. – 2002. – №10,– С.57-65.

9. Кеба И.В. Диагностика авиационных газотурбинных двигателей / И.В. Кеба. – М.: Транспорт, 1980. – 248 с.

10. Лозицкий Л.П. Оценка технического состояния авиационных ГТД / Л.П. Лозицкий, А.К. Янко, В.Ф. Лапшов. – М.: Транспорт, 1982. – 160 с.

11. Практическая диагностика авиационных газотурбинных двигателей / Л.П. Лозицкий, В.П. Степаненко, В.А. Студеникин [и др.] ; Под ред. В.П. Степаненко. – М.: Транспорт, 1985. – 102 с.

12. Компресорні станції. Контроль теплотехнічних та екологічних характеристик газоперекачувальних агрегатів: СОУ 60.3-30019801-011:2004. – [Чинний від 2004 – 12 – 22]. – К. : ДК «Укртрансгаз», 2004. – 117 с.

*Стаття надійшла до редакційної колегії  
10.06.12*

*Рекомендована до друку оргкомітетом  
міжнародної науково-технічної конференції  
“Проблеми і перспективи транспортування нафти і газу”,  
яка відбулася 15-18 травня 2012 р.*