



НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ КОНФЕРЕНЦІЇ

Національний університет кораблебудування

СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПРОБЛЕМИ ДВИГУНОБУДУВАННЯ

VII МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ

24–25 листопада 2022 р.

МАТЕРІАЛИ



Миколаїв ■ 2022

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПРОБЛЕМИ ДВИГУНОБУДУВАННЯ

VII Міжнародна науково-технічна конференція

24–25 листопада 2022 року

*Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, пр-т Героїв України, 9*

МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ

Миколаїв
Видавець Торубара В.В.
2022

УДК 621.43
С89

ОРГАНІЗАТОРИ

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Академія наук суднобудування України
ДП Науково-виробничий комплекс газотурбобудування «Зоря»—«Машпроект»
Колумбійський університет (Нью-Йорк, США)
Корейський науково-дослідний інститут машинобудування і матеріалів
(Республіка Корея)
Стамбульський університет, (Турецька Республіка)

**Матеріали публікуються за оригіналами, наданими авторами.
Претензії до організаторів не приймаються.**

Відповідальний за випуск:
О. А. Гогоренко

С 89 **Сучасний стан та проблеми двигунобудування : Матеріали міжнародної науково-технічної конференції. – Миколаїв : видавець Торубара В.В., 2022. – 192 с.**

ISBN 978-617-7472-99-4

У збірнику наведені матеріали міжнародної конференції, яка відбулася у Національному університеті кораблебудування (м. Миколаїв) 24–25 листопада 2022 року. Розглянуті науково-технічні, організаційні та екологічні питання, що виникають при дослідженні, проектуванні, виготовленні та експлуатації двигунів та установок різного типу і призначення. Досліджені загальні питання двигунобудування, робочі процеси в газотурбінних двигунах і двигунах внутрішнього згорання, а також аспекти конструювання й виробництва двигунів та їх елементів. Велика увага приділена впровадженню енергоощадних технологій, застосуванню прогресивних технологій при виготовленні та монтажі двигунів.

Матеріали збірника можуть бути корисними для науковців, інженерно-технічних працівників, викладачів, студентів і аспірантів.

УДК 621.43

ISBN 978-617-7472-99-4

© Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова, 2022

Тиск в камері змішання прийнятий постійним, хоча в дійсності він дещо збільшується. Для створення потрібної швидкості ежектуемого випускного газу при вході до камери змішання тиск p_β в ній повинен бути нижчим, ніж тиск газу за силовою турбіною p_4 . Це зниження тиску в камері змішання характеризується коефіцієнтом β , який визначає швидкість w_{t3} випускного газу перед змішанням:

$$\beta = \frac{p_4 - p_\beta}{p_5 - p_4},$$

тобто відношенням напору, витрачаємого на створення вхідної швидкості ежектуємої речовини, до напору, який створюється струйним апаратом.

Стискання суміші повітря та випускних газів в ежекторі вважаємо ізоентропійним.

Коефіцієнт корисної дії усього ежектора може бути визначений як відношення використовуємої енергії до затраченої на ежекцію енергії, тобто

$$\eta_{\text{еж}} = \frac{G_{t3} h}{G_{\text{еж}} (H - h)} = \frac{u}{\frac{H}{h} - 1},$$

де $H = p_\pi - p_4$ – напір при витоку ежекційного повітря; $h = p_5 - p_4$ – напір, який створюється струйним апаратом.

Розроблена методика розрахунку газотурбінного агрегата з ежекційним перерозширенням газу в турбіні може бути використана для проектування та дослідження параметрів ГТА даного типу.

Література:

1. Романовський Г. Ф., Сербін С. І., Патлайчук В. М. Сучасні газотурбінні агрегати: у 2 т. Т. 1. Агрегати виробництва України та Росії. Миколаїв: НУК, 2005. – 344 с.
2. Романовський Г. Ф., Ващилєнко М. В., Сербін С. І. Теоретичні основи проектування суднових газотурбінних агрегатів: навчальний посібник. Миколаїв: УДМТУ, 2003. – 304 с.
3. Берман С. С. Теплообменные аппараты и конденсационные устройства турбоустановок. М.: ГНТИМЛ, 1976. – 427 с.

DEPENDENCE OF THE PARAMETERS OF GAS TURBINE UNIT ON THE GAS OVER-EXPANSION IN POWER TURBINE

Patlaichuk V. M.

Head of the Department of Turbines

*Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Mykolayiv, Ukraine*

Borschov O. M.

student, group 6231m

*Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Mykolayiv, Ukraine*

Consider the dependence of the parameters of gas turbine unit with an air-jet ejector on the gas over-expansion in power turbine. The issue of the designing of such unit was discussed in paper [1].

Thermal calculations of the gas turbine unit with gas over-expansion were carried out according to the developed methodology [2] with some variable initial parameters. Discreetly varied:

- 1) ejection coefficient u (acceptable values – 0.3; 1.0 and 3.0);
- 2) pressure behind the power turbine p_4 – *depth of over-expansion* (acceptable values – 20, 40, 60, 80 and 100 kPa).

Each accepted value of the ejection coefficient u corresponded to the maximum value of the ejector efficiency η_{ej} and the optimal value of the coefficient β , which were chosen according to the recommendations [3].

Calculations were limited to the minimum pressure in the mixing chamber of the ejection device $p_\beta = 5$ kPa.

Pressure losses of ejection air on the way from the point of selection in the compressor to the ejector were assumed to be equal to 10%.

The parameters not directly related to the operation of the ejection device were assumed to be the same as for the simple cycle gas turbine unit, the calculation of which was carried out in advance.

In all variants, the calculation was carried out for the same power of the gas turbine unit at the generator terminals of 25 MW, the same initial gas temperature of 1500 K and the compressor pressure ratio $\pi_\kappa = 22$. Natural gas with a calorific value of 50,032 kJ/kg was used as fuel.

Graphical dependences of the most important parameters of the gas turbine unit on the pressure behind the power turbine p_4 are shown in fig. 1-8. The same graphs show the values of the corresponding parameters for a simple cycle gas turbine unit for comparison.

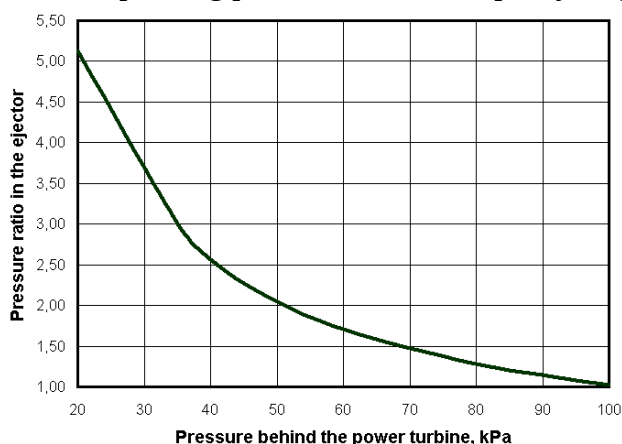


Fig. 1. The ejector pressure ratio versus pressure behind the power turbine

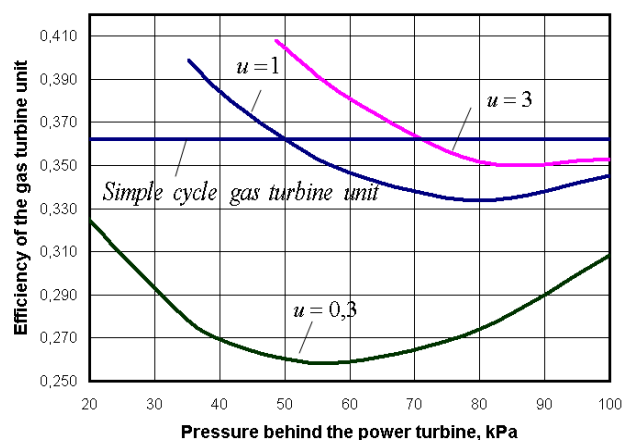


Fig. 2. The gas turbine unit efficiency versus pressure behind the power turbine

The results of the calculations indicate that:

- 1) The dependence of pressure ratio in the ejector on the depth of over-expansion is not linear. In the studied range, its largest value (5.1) corresponds to the lowest value of the gas pressure behind the turbine part (20 kPa).

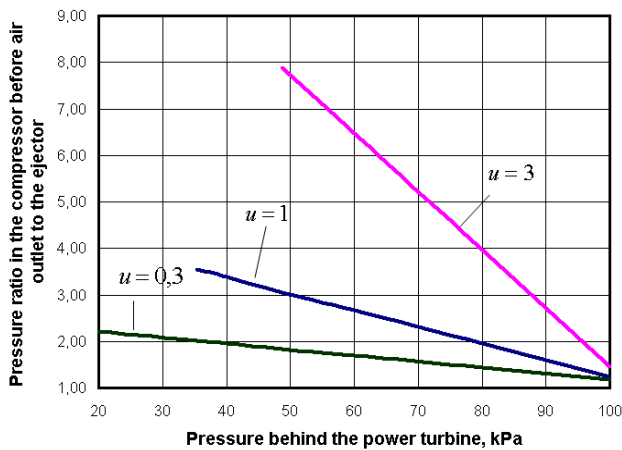


Fig. 3. The compressor pressure ratio before air sampling for ejection versus pressure behind the power turbine

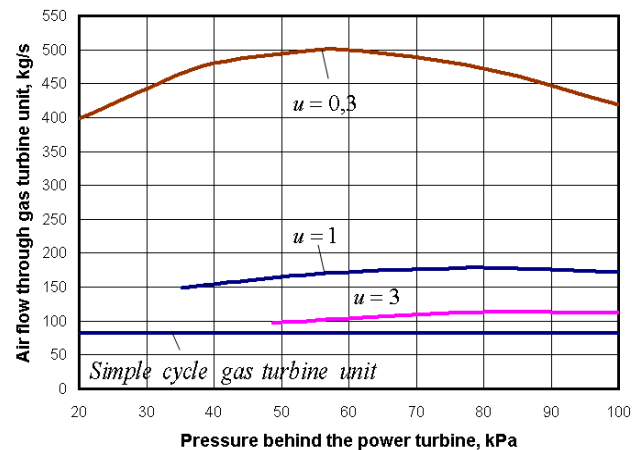


Fig. 4. The air flow through gas turbine unit versus pressure behind the power turbine

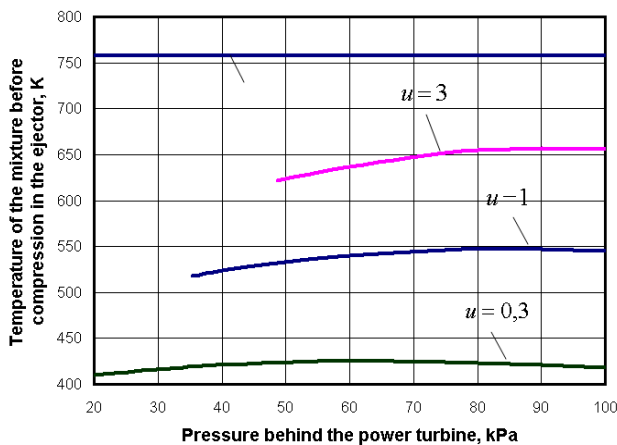


Fig. 5. The temperature of "exhaust gas – ejection air" mixture before compression in ejector versus pressure behind the turbine

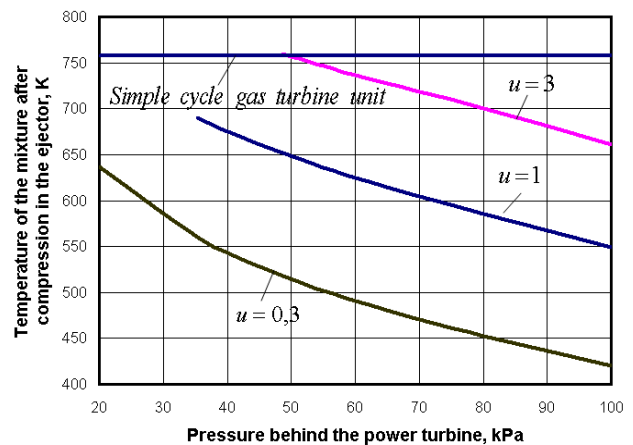


Fig. 6. The temperature of "exhaust gas – ejection air" mixture after compression in ejector versus pressure behind the turbine

2) The dependence of gas turbine unit efficiency on the depth of over-expansion for all selected values of the ejection coefficient u has an optimum. This is explained by the ambiguous effect of ejection over-expansion on the effectiveness of gas turbine unit. On the one hand, the efficiency increases due to an increase in the heat transfer processed in the turbine. On the other hand, for the work of the ejector, a significant amount of air is taken from the intermediate stages of the compressor, for the compression of which the power of the turbine has already been spent, which leads to a decrease in efficiency.

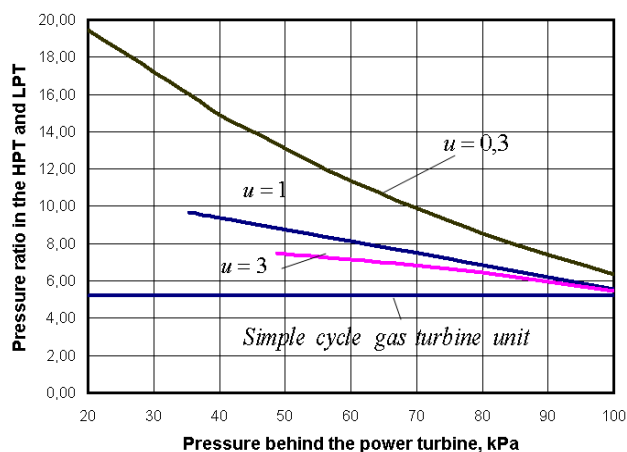


Fig. 7. The pressure ratio in compressor turbines (HPT and LPT) versus pressure behind the power turbine

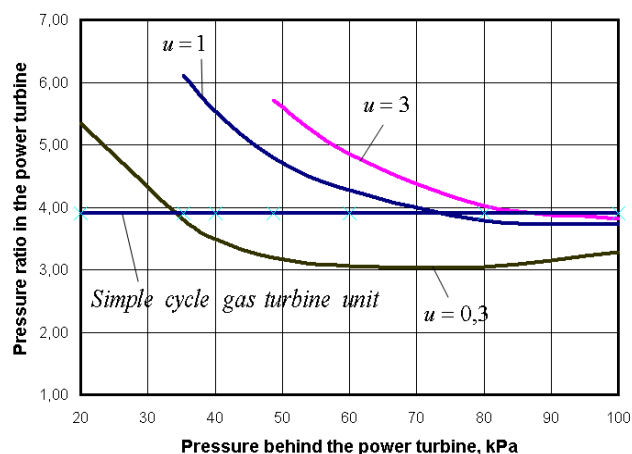


Fig. 8. The pressure ratio in power turbine versus pressure behind it

3) The ambiguity of the effect of over-expansion on the gas turbine unit efficiency is the reason that a positive result from the design change is achieved only at a pressure behind the power turbine less than 70 kPa, and even then not for all values of the ejection coefficient u .

4) Larger values of the ejection coefficient u lead to greater efficiency of the gas turbine unit. This is due to the smaller total amount of air taken from the compressor for ejection. Even if the efficiency of the ejector will be worse.

5) In the studied range of parameters, the highest efficiency of the gas turbine unit with over-expansion reaches 0.408. For comparison, the efficiency of the basic simple cycle gas turbine unit is 0.362.

6) For normal operation of the ejection device, the pressure in the mixing chamber (the lowest pressure in the system) must be lower than the gas pressure behind the power turbine. The higher the selected ejection coefficient u , the lower the pressure in the mixing chamber will be.

7) Larger values of the ejection coefficient u mean a smaller amount of air taken from the compressor for ejection. But at the same time, the sampled air must have a much higher pressure, that is, it must be sampled from the stages of the compressor, which are located much further downstream. Thus, air sampling in almost all versions of the considered gas turbine unit is carried out from the intermediate stages of the low-pressure compressor. But for the ejection coefficient $u = 3$ at a pressure behind the turbine less than 70 kPa, the selection must be made already from the intermediate stages of the high-pressure compressor.

8) The use of over-expansion leads to an increase in the total amount of air that passes through the gas turbine unit. This is especially important for ejection coefficients u less than 1.0. This is primarily reflected in the design of the flow part of the compressor to the place of air sampling (a significant increase in the length of the blades, etc.).

9) Mixing of exhaust gas with relatively cold ejection air leads to a decrease in the temperature of the mixture in the mixing chamber of the ejector with its further increase in the diffuser during compression. In general, the final temperature of the mixture is lower than the temperature of the exhaust gas of simple cycle gas turbine unit and depends significantly on the chosen value of the ejection coefficient u .

10) Larger values of the ejection coefficient u , as well as a larger depth of over-expansion, lead to larger values of the gas expansion rate in the power turbine.

References:

1. Patlaichuk V. M., Patlaichuk O. V., Borschov O. M. Design of gas turbine unit with ejection over-expansion of gas in the turbine. Інновації в суднобудуванні та океанотехніці: XII

Міжнародна науково-технічна конференція: матеріали. Миколаїв: НУК, 2021. С. 219-221.

2. Патлайчук В. М., Пустовойченко А. Є., Борщов О. М. Методика теплового розрахунку газотурбінного агрегату з ежекційним перерозширенням газу в турбіні. Суднова енергетика: стан та проблеми: X Міжнародна науково-технічна конференція: матеріали. Миколаїв: НУК, 2021. С. 55-58.

3. Берман С. С. Теплообменные аппараты и конденсационные устройства турбоустановок. М.: ГНТИМЛ, 1976. – 427 с.

DIRECTIONS FOR INCREASING THE EFFICIENCY OF GAS TURBINE UNITS WITH GAS OVER-EXPANSION IN THE TURBINE

Patlaichuk V. M.

Head of the Department of Turbines

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Mykolaiv, Ukraine

One of the possible ways to increase the efficiency and useful power of gas turbine units is the use of gas over-expansion in the turbine part of these units [1].

Gas turbine units with gas over-expansion trigger a much larger heat transfer in the turbine, but they require additional structural elements for the release of exhaust gas into the atmosphere, since the gas cannot reach it independently, without these elements.

The mechanical energy of the turbine part of gas turbine unit will be spent on the operation of the pressure device (a special compressor or an air-jet ejector), which significantly reduces the positive effect of gas over-expansion. Therefore, the use of over-expansion will have an ambiguous effect on the efficiency of gas turbine unit (on the one hand, increase the power of the turbine due to a bigger activated heat transfer, and on the other hand, reduce it due to the power consumption of the drive of the pressure device).

A series of calculations performed for over-expanded gas turbine units using an air-jet ejector confirms this proposition. To achieve an efficiency that exceeds the efficiency of the simple cycle gas turbine unit, it is necessary to ensure a significant depth of over-expansion in the power turbine, for which the pressure behind it should be brought to values lower than 70 kPa.

In the studied range of parameters, the highest efficiency of gas turbine unit with over-expansion reached 0.408 at a pressure behind the turbine of 48 kPa. For comparison, the efficiency of basic simple cycle gas turbine unit was 0.362.

The results of the calculation indicate the expediency of improving the design and thermal scheme of the gas turbine unit with over-expansion, which uses an air-jet ejector to evacuate exhaust gas.

Currently, the main direction of increasing the efficiency of gas turbine power plants, which is implemented by improving their thermal scheme, is the utilization of the heat of exhaust gas. To implement this, a heat recovery circuit is added to the gas turbine unit, in which the heat of the exhaust gas is used for steam generation or for heating water. The efficiency of such power plants (so-called *combined cycle power plants*) is within 50...60 % [2], [3].

What features of the gas turbine unit with over-expansion can significantly affect the parameters of the heat utilization circuit and, accordingly, the final efficiency of power plant?

The results of the calculation of gas turbine unit with an air-jet ejector indicate that the outlet temperature of the gas is in all cases lower than that of a simple cycle gas turbine unit. The lower temperature of the gas will cause lower circuit productivity and lower efficiency of the power plant compared to combined cycle power plants without over-expansion.