

## ЕНЕРГЕТИЧНІ ПОКАЗНИКИ ПРОТИТИСКОВОЇ ТУРБИНИ В РЕАЛЬНИХ УМОВАХ РОБОТИ

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

*Вказано на актуальність використання когенераційних установок для виробництва теплової та електричної енергії з більш високою енергоефективністю. Визначено реальний відносний внутрішній ККД протитискової турбіни та електромеханічний ККД турбогенератора в реальних умовах його роботи.*

**Ключові слова:** парова турбіна, відносний внутрішній ККД, електромеханічний ККД, електрична потужність

### Abstract

*The urgency of using cogeneration units for the production of heat and electricity with greater energy efficiency is indicated. The real relative internal and electromechanical efficiency of the backpressure turbine in real conditions of its operation is determined*

**Keywords:** steam turbine, relative internal efficiency, electromechanical efficiency, electric power

### Вступ. Постановка задачі

Частка споживання палив і енергії, що припадає на сектор тепlopостачання України орієнтовно становить 50% [1]. Відповідно до Енергетичної стратегії України до 2035 року одним із головних заходів зі скорочення споживання енергії в системах централізованого тепlopостачання має стати оптимізація джерел теплогенерації з фокусом на когенераційні потужності та максимізація ККД [2]. Сьогодні у світі широко використовується процес сумісного виробництва електричної і теплової енергії когенераційними установками, зокрема теплоелектроцентралями (ТЕЦ). Загальновідомо, що головна перевага когенерації полягає в перетворенні енергії з більшою енергетичною ефективністю, чим досягається зменшення витрат на виробництво одиниці енергії. Робота ТЕЦ за принципом когенерації має на меті підвищити на 30-40% ефективність використання палива – у порівнянні з виключно теплогенерацією [3]. Для оцінки ефективності використання палива на ТЕЦ традиційно застосовуються значення питомої витрати умовного палива на виробництво теплової і електричної енергії, а також, зв'язані з ними через тепловий еквівалент умовного палива, відповідні коефіцієнти корисної дії [4]. Стан обладнання та режим роботи теплоелектроцентралі є факторами прямого впливу на величину питомих витрат умовного палива на протязі певного періоду часу. Саме зношеність обладнання теплоелектроцентралей, яке в своїй більшості відпрацювало по 50 років і відповідно його низький ККД є однією з основних причин зниження ефективності виробництва [5].

Основними складовими ТЕЦ є котельна та турбогенераторна установки. В цьому обладнанні реальної ТЕЦ втрачається енергія. Втрати енергії оцінюють відносними ККД (ККД котла, трубопроводів, турбіни, електричного генератора та ін.). Підвищення економічності паротурбінних установок тісно пов'язане з підвищенням ККД енергетичного обладнання, в тому числі самої парової турбіни.

Зважаючи на викладене вище, мета роботи – виконати оцінку ККД парової протитискової турбіни в умовах реальної її експлуатації.

### Результати досліджень

В даній роботі розглянуто енергетичні показники протитискової парової турбіни Р-4-35/5М в реальних режимах роботи. Основні розрахункові техніко-економічні характеристики турбіни Р-4-35/5М [6]: номінальна потужність 4 МВт, максимальна потужність 4,3 МВт, абсолютний тиск пари перед турбіною 3,43 МПа, температура пари перед турбіною 435 °С, абсолютний тиск пари за турбіною 0,49 МПа.

Для визначення енергетичних показників роботи турбіни виконані вимірювання її електричної потужності, параметрів перегрітої пари та пари у протитиску турбіни. За результатами вимірювань отримані наступні дані: тиск пари на вході в турбіну 3 3,3...3,5 МПа, температура пари на вході в турбіну 410...430 °С, тиск пари в протитиску 0,47...0,5 МПа, а температура пари – 260...315 °С. При цьому електрична потужність турбіни змінювалась в діапазоні 0,3...3,3 МВт.

Для визначення термодинамічної ефективності роботи побудовані теоретичні та дійсні процеси розширення пари в турбіні на h-S діаграмі, виконані їх розрахунки, визначені відносний внутрішній ККД турбіни  $\eta_{oi}$  та електромеханічний ККД турбогенератора  $\eta_{em}$ . Виявлено, що фактичний відносний внутрішній ККД турбіни змінюється залежно від навантаження в діапазоні 0,302...0,577. Натомість для більшості парових турбін відносний внутрішній ККД становить 0,75...0,9 [7-9]. Характер зміни відносного внутрішнього ККД парової протитискової турбіни для реальних режимів роботи показаний на рис. 1. Як видно з рисунка, відносний внутрішній ККД турбіни суттєво зменшується зі зменшенням електричної потужності турбогенератора.

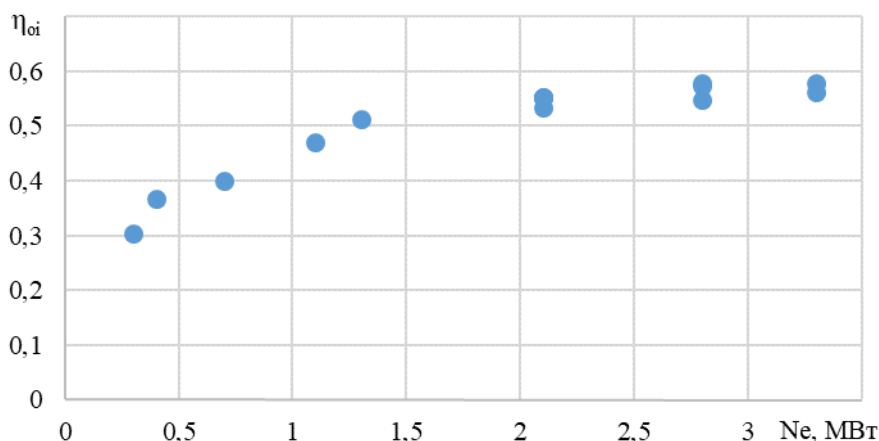


Рисунок 1 – Відносний внутрішній ККД парової турбіни в залежності від електричної потужності

На рис. 2 наведено показники електромеханічного ККД турбогенератора. За умов навантаження турбіни більше 0,7 МВт фактичний електромеханічний ККД турбогенератора змінюється в межах 0,807...0,910. За літературними даними значення електромеханічних ККД турбогенераторів на номінальних навантаженнях змінюється в межах 0,95...0,99 [8].

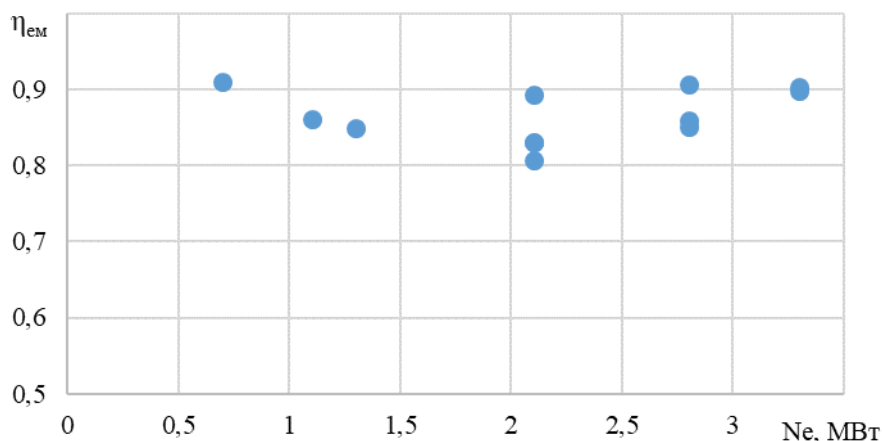


Рисунок 2 – Електромеханічний ККД турбогенератора в залежності від електричної потужності

Отже, в діапазоні досліджених навантажень 0,7...3,3 МВт можна відмітити, що відносний внутрішній ККД турбіни змінюється в діапазоні 0,302...0,577, а електромеханічний ККД турбогенератора становить  $85\pm 5\%$ , що вказує на необхідність капітального ремонту проточної частини турбіни, налагодження режимів роботи і системи регулювання.

### Висновки

Використання парових протитискових турбін дозволяє виробляти з високою енергетичною ефективністю електричну енергію на тепловому споживанні для потреб підприємства.

На основі вимірних показників роботи протитискової парової турбіни виявлено, що внутрішній ККД турбіни із збільшенням навантаження зростає від 0,302 до 0,577. Електромеханічний ККД турбогенератора змінюється в межах 0,807...0,910.

Встановлено, що фактичні значення внутрішніх відносних ККД, які отримані за результатами випробувань менше розрахункових ККД заводів-виробників парових турбін. Для підвищення енергетичної ефективності турбіна потребує капітального ремонту проточної частини турбіни, налагодження режимів роботи і системи регулювання.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гелетуха Г. Г. Як запровадити довгострокове планування централізованого теплопостачання в Україні. URL: <https://investgazeta.ua/blogs/yak-zaprovaditi-dovgostrokove-planuvannya-tsentralizovanogo-teplopostachannya-v-ukrajini>

2. Енергетична стратегія України до 2035 року: «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80#Text>

3. Українська енергетика. URL: <https://ua-energy.org/uk/posts/taryfy-na-teplo-v-ukraini-iak-zmenshyty-rakhunok-za-opalennia>.

4. Чепурний М. М., Резидент Н.В. Оцінка ефективності енергопостачання від промислових теплоцентралей. Наукові праці Вінницького національного технічного університету. 2012. № 4. URL: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/4728/338.pdf?sequence=3&isAllowed=y>.

5. Боднарчук В. В. Управління питомими витратами умовного палива — основна складова розвитку ТЕЦ в умовах сучасної економіки. Інвестиції: практика та досвід. 2009. № 7. URL: [http://www.investplan.com.ua/pdf/7\\_2009/14.pdf](http://www.investplan.com.ua/pdf/7_2009/14.pdf)

6. Юренев В. Н., Лебедев П. Д. Теплотехнический справочник. Москва : Энергия, 1975. 744 с.

7. Сазанов, Б.В.; Юренев, В.Н.; Баженов, М.И., Богородский А.С. / за ред. Е.Я. Соколова. Промышленные тепловые электростанции. Энергия, 1967. 344 с.

8. Елизаров, Д. П. Теплоэнергетические установки электростанций Москва : Энергия, 1982. 256 с.

9. Рябоконт Г. О., Мисак Й. С. Порівняльні дослідження розрахункових техніко-економічних показників турбіни К-325-23,5 з результатами теплових випробувань. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Темат. вип. : Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. 2016. № 8 (1180). С. 72-80. doi: 10.20998/2078-774X.2016.08.10.

*Степанов Дмитро Вікторович*, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, [Stepanovdv@ukr.net](mailto:Stepanovdv@ukr.net)

*Резидент Наталія Володимирівна*, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, [rezidentnv1@ukr.net](mailto:rezidentnv1@ukr.net)

*Савіцький Олександр Володимирович*, студент кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет

*Stepanov Dmitro*, candidate of technical Sciences, associate Professor, Department of power engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [Stepanovdv@ukr.net](mailto:Stepanovdv@ukr.net)

*Rezydent Nataliia*, candidate of technical Sciences, associate Professor, Department of power engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, [rezidentnv1@ukr.net](mailto:rezidentnv1@ukr.net)

*Savitsky Oleksandr*, student on Department of power engineering, Vinnytsia National Technical University