

DOI 10.15589/jnn20160307

УДК 620.9

Б83

IMPROVING WEIGHT AND OVERALL DIMENSIONS OF CONTACT CONDENSER OF GAS STEAM POWER PLANTS FOR MARINE INFRASTRUCTURE FACILITIES

ПОЛІПШЕННЯ МАСОГАБАРИТНИХ ПОКАЗНИКІВ КОНТАКТНИХ КОНДЕНСАТОРІВ ГАЗОПАРОТУРБІННИХ УСТАНОВОК ДЛЯ ОБ'ЄКТІВ МОРСЬКОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Oleksandr S. Bortsov

oleksandr.bortsov@nuos.edu.ua

ORCID: 0000-0003-0458-6064

Anatolii P. Shevtsov

anatoliy.shevtsov@nuos.edu.ua

ORCID: 0000-0002-8692-6458

О. С. Борцов,

асп.

А. П. Шевцов,

д-р техн. наук, проф.

*Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv**Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв*

Abstract. The aim of the article is to decrease the weight and size of the contact condensers of gas-steam turbine plants. The increase of the gas-vapor flow speed is a way to achieve the aim. The results of the research are: heat, gas-dynamic, mass and overall indexes of the contact condenser for the gas-vapor flow speed from 3 to 6 m/s. At the conclusion of research are determined the values of efficiency and specific power of gas-steam turbine plants with contact condensers which have less weight and size.

Keywords: gas; steam; mixture; velocity; condenser; plant; upgrading.

Анотація. Розглянуто поліпшення контактних конденсаторів газопаротурбінних установок за рахунок збільшення швидкості газопарової суміші.

Ключові слова: газ; пара; суміш; швидкість; конденсатор; установка; поліпшення.

Аннотация. Рассмотрено совершенствование контактных конденсаторов газопаротурбинных установок за счет увеличения скорости газопаровой смеси.

Ключевые слова: газ; пар; смесь; скорость; конденсатор; установка; совершенствование.

REFERENCES

- [1] Bondin Yu. N., Chobenko V. N. *Primenenie kontaktnykh gazoparoturbinykh ustanovok dlya sovmestnoy vyrabotki elektricheskoy i teplovoy energii* [The use of contact gas steam-turbine plants for cogeneration of electricity and heat] *Visnyk inzhenernoi akademii Ukrainy — Journal of Engineering Academy of Ukraine*. Kyiv, 2004, no. 1, pp. 22–28.
- [2] Isakov B. V., Movchan S. M., Rassoshanskyi V. S. *Kontaktnyi kondensator ustanovky HPU-16K* [Contact installation HCP-16K capacitor] *Naftova i hazova promyslovisht — Oil and gas industry*. Kyiv, 2005, no. 5, pp. 53–55.
- [3] Kolomieiev V. M., Dykyi M. O., Izbash V. I. *Analiz tekhniko-ekonomichnykh pokaznykiv i perspektyvy vykorystannia kontaktnykh hazoparoturbinykh ustanovok na KS MH Ukrainy* [Analysis of technical and economic indicators and the use of contact gas steam-turbine facilities at COP MG Ukraine] *Naftova i hazova promyslovisht — Oil and gas industry*. Kyiv, 2005, no. 3, pp. 43–46.
- [4] Kuznetsova S. A. *Modelirovanie teplomassoobmennykh i gidrodinamicheskikh protsessov v elementakh tsirkulyatsionnogo kontura kontaktnykh gazoparoturbinykh ustanovok* [Modelling of heat and mass transfer and hydrodynamic processes in the elements of the circulation circuit pin of gas steam-turbine plants] *Promyshlennaya teplotekhnika — Industrial Heat Engineering*. Kyiv, 2003, chapter 25, no. 6, pp. 28–33.
- [5] Yeliseev Yu., Belyaev V., Markelov A., Sinkevich M. *Parogazovaya ustanovka kontaktnogo tipa dlya TETs-28* [Combined-cycle plant of the contact-type thermal power station-28] *Dvigatel* [Engine]. 2002, no. 3 (21), pp. 12–14.
- [6] Romanovskiy H. F., Vashchylenko M. V., Serbin S. I. *Teoretychni osnovy proektuvannia sudnovykh hazoturbinykh ahrehativ* [Theoretical bases of designing marine gas turbine units]. Mykolaiv, UDMTU Publ., 2003. 304 p.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Розробка нових енергозберігаючих технологій, з одночасним вирішенням екологічних і економічних завдань є пріоритетним напрямом науково-технічних досліджень енергетичних установок.

Досвід експлуатації контактних парогазотурбінних установок (КГПТУ) дає можливість говорити про ефективне виробництві механічної, теплової та електричної енергії [1, 3, 5]. Використання аналогічних установок для плаваючих електростанцій, видобувних платформ на морському шельфі та на інших об'єктах морської інфраструктури має певні позитивні показники. Але масогабаритні показники КГПТУ, як енергетичних установок на об'єктах морської інфраструктури, повинні бути нижче за стаціонарних установок континентального базування. Аналіз масогабаритних показників елементів установки доводить, що контактний конденсатор і його показники повинні бути значно поліпшені за рахунок інтенсифікації процесів в ньому [2]. Інтенсифікація гідрогазодинамічних та тепломасообмінних процесів в контактних конденсаторах можлива при підвищенні швидкості газопарового потоку без порушення рівноваги течії рідини і газу. Тому визначення умов досягнення підвищення швидкості течії газопарового потоку з одночасним стабільним відведенням рідини і газу в контактному конденсаторі при ефективному виробництві механічної, теплової та електричної енергії КГПТУ є науково-технічним завданням при розробці КГПТУ морського призначення.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Дослідження процесів в контактному конденсаторі КГПТУ представлені в роботах [2, 4]. У розглянутих джерелах швидкості газопарового потоку склали 3–4 м/с. Підвищення швидкості газопарового потоку понад 4 м/с при досліджених конструкціях могло спричинити порушення стабільності роботи конденсатора, значне підвищення його газодинамічного опору та непрацездатність енергетичної установки в цілому. Головною причиною таких негативних наслідків є перешкоджання відводу рідини в збірник з нижнього перерізу сітчастої тепломасообмінної насадки.

МЕТОЮ СТАТТІ є визначення поліпшення техніко-економічних та масогабаритних показників контактного конденсатора при підвищенні швидкості течії газопарового потоку з одночасним стабільним відведенням рідини і газу при ефективному виробництві механічної, теплової та електричної енергії КГПТУ.

Для досягнення поставленої мети вирішуються наступні задачі:

1. Визначення теплотехнічних характеристик контактних конденсаторів та його складових елементів

для діапазону швидкостей газопарові суміші (ГПС) 3–6 м/с.

2. Визначення шляхів зниження росту аеродинамічного спротиву контактного конденсатора при підвищенні швидкості газопарові суміші.

3. Визначення масогабаритних показників контактних конденсаторів та його складових елементів для діапазону швидкостей газопарові суміші (ГПС) 3–6 м/с.

4. Визначити значення ККД та питомої потужності КГПТУ для різних початкових температур навколишнього середовища в діапазоні швидкостей ГПС в контактних конденсаторах 3–6 м/с.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Підвищення швидкості газопарового потоку в контактному конденсаторі понад 4 м/с парціальним способом течії в нижньому перерізі сітчастої тепломасообмінної насадки обґрунтовано експериментально. Розрахункові дослідження впливу показників парціального способу течії при стабільному відведенні рідини і газу в контактному конденсаторі представлено нижче. Використана математична модель контактного конденсатора була доопрацьована і відрізнялась від математичної моделі [4] наявністю додаткових процедур завдяки яким досліджувалися одночасний вплив конденсації та сепарації на температуру теплоносіїв, прибуток води та перепад тиску в конденсаторі при незмінних конструктивних показниках елементів конденсатора. Розрахунки циклу КГПТУ при зміні масогабаритних показників в залежності від швидкості ГПС виконано за математичною моделлю [6].

Визначення теплотехнічних характеристик контактних конденсаторів

виконано для діапазону швидкостей ГПС 3–6 м/с з кроком по швидкості 0,5 м/с та представлено на рис. 1, 2 та 3.

Залежність вихідної температури ГПС (рис. 1,а) і води на виході (рис. 1,б) відповідають вихідним даним, що наведені в роботі за результатами приймальних випробувань та дослідно-промислової експлуатації [2].

При збільшенні швидкості ГПС в контактному конденсаторі температура газопарової суміші збільшується на 2–3 К, а температура відведеної води знижується на 1 К і внаслідок цього кількість відведеної теплоти знижується на 4%.

На рис. 3 представлені результати прибутку води в залежності від швидкості ГПС.

Згідно результатів розрахунків при збільшенні швидкості ГПС можливо збільшення прибутку води, що дозволяє зменшити витрати води на установку.

Для визначення шляхів зниження росту аеродинамічного спротиву контактного конденсатора при підвищенні швидкості газопарові суміші зроблено аналіз впливу аеродинамічного спротиву окремих елементів

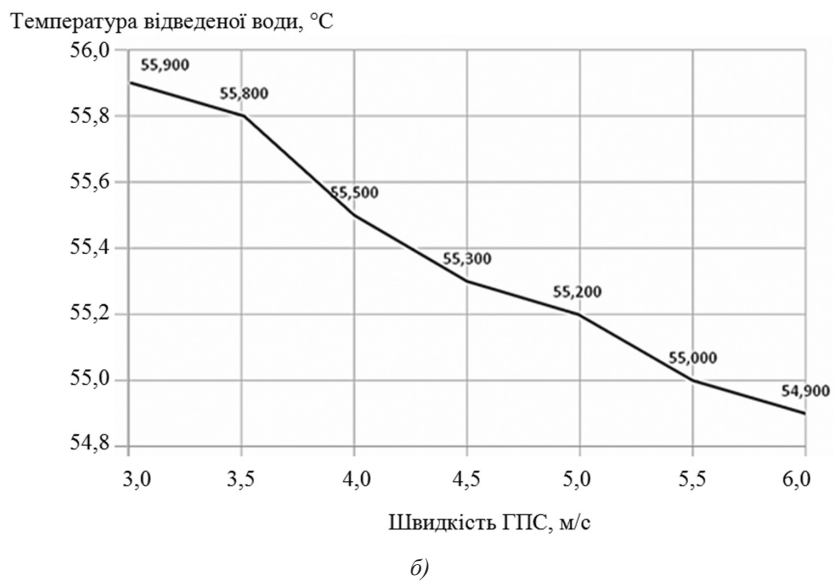
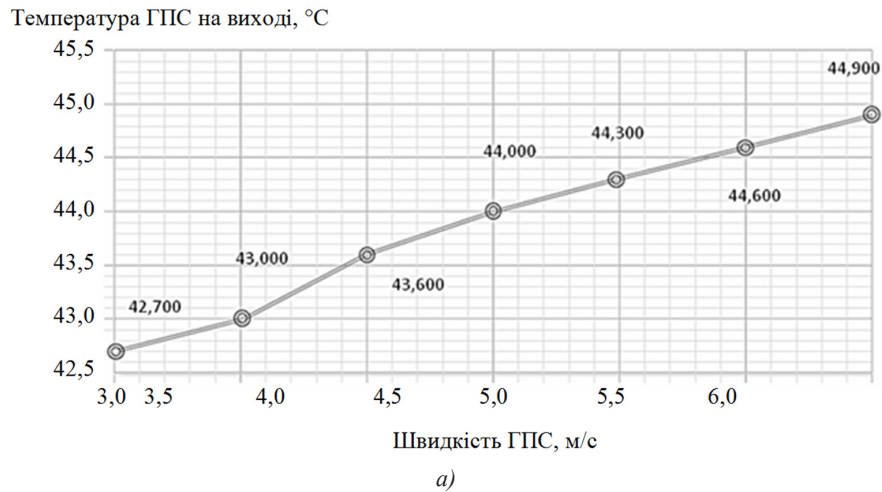


Рис. 1. Залежність вихідної температури і води від швидкості руху ГПС:
а) температура ГПС; б) температура відведеної води

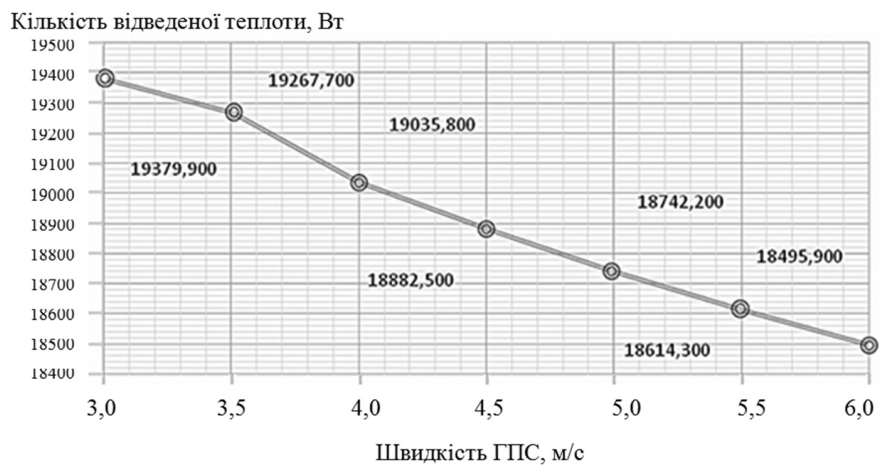


Рис. 2. Кількість відведеної теплоти в залежності від швидкості ГПС

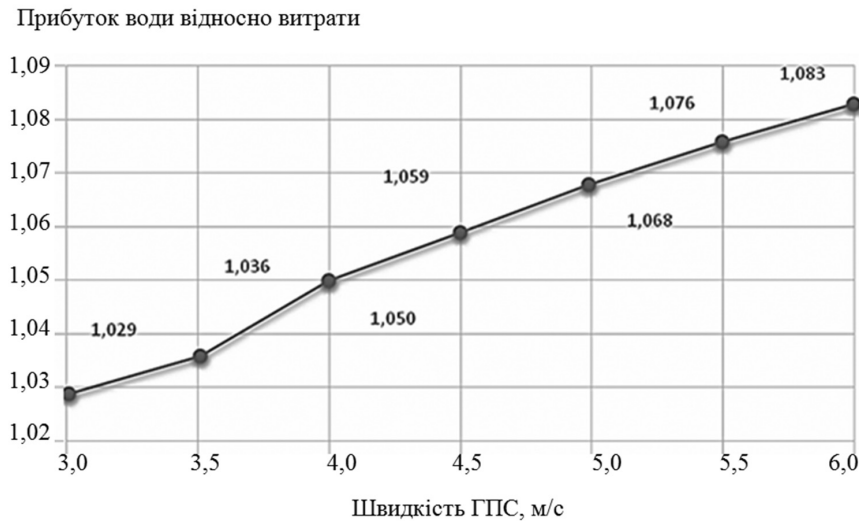


Рис. 3. Результат прибутку води в залежності від швидкості ГПС

на загальний аеродинамічний спротив контактного конденсатора.

Результати розрахунків перепадів тиску газопарової суміші у контактному конденсаторі і його тепломасообмінній насадці представлено на рис. 4.

При збільшенні швидкості руху та незмінних показниках контактного конденсатора збільшується аеродинамічний супротив до 3540 Па. При розрахунках теплотехнічних характеристик контактних конденсаторів була використана конструкція сітчасто-пористої насадка аналогічна, що використовується у КГПТУ-16.

Наслідком аналізу впливу перепаду тиску окремих елементів на загальне значення перепаду тиску контактного конденсатора в цілому є визначення сітчастої тепломасообмінної насадки як елемента з найбільшим аеродинамічним спротивом. Зменшення перепаду тиску на сітчастій тепломасообмінній насадці

досягається за рахунок зменшення її пористості, що можливо при корекції її конструкції завдяки розмірам сітки і каналів.

На аеродинамічний супротив у насадці контактного конденсатора значно впливають радіус скруглення каналів насадки, шаг між трубками або гофрами вдовж однієї сторони розділення лінії по нормалі до осі трубок або гофр.

Результати можливого зменшення перепаду тиску на сітчастій тепломасообмінній насадці при різних сітках та розмірах каналів приведено на рис. 5. та ефективності висадження води при роботі конденсатора на рис. 6.

Вплив швидкості руху газопарової суміші при вихідних умовах наведених вище на показники контактного конденсатора та його тепломасообмінної насадки наведено в табл. 1 та на рис. 6.

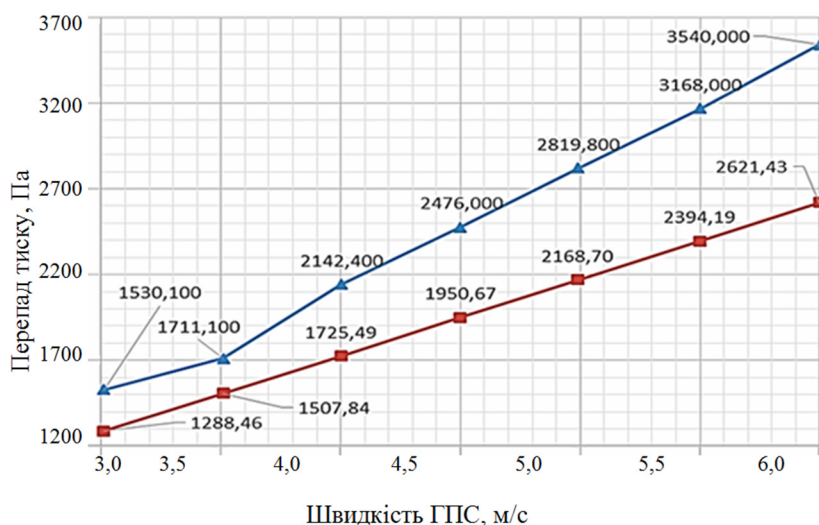


Рис. 4. Перепад тиску в залежності від швидкості газопарової суміші:
 ▲ — у контактному конденсаторі; ■ — у тепломасообмінній насадці

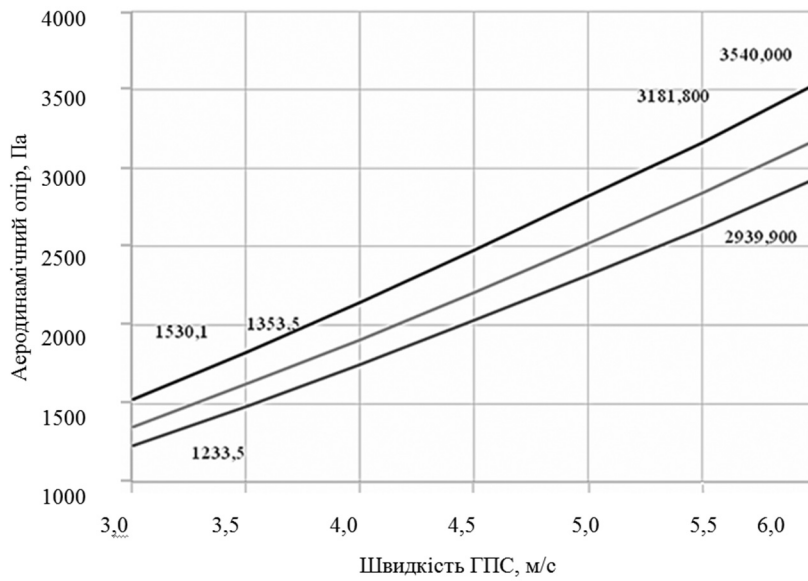


Рис. 5. Залежність аеродинамічного опору для значень кроків між трубками або гофрами уздовж однієї сторони розділу лінії по нормалі до осі трубок або гофр (м) відповідно 0,013 м; 0,014 м; 0,015 м

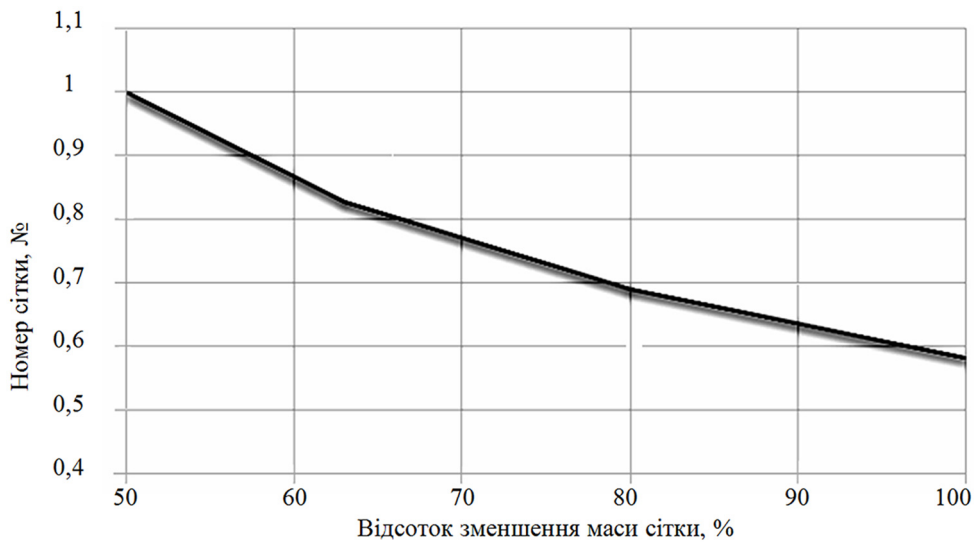


Рис. 6. Зменшення маси тепломасообмінної насадки в залежності від номера сітки

Таблиця 1. Зміна масогабаритних показників контактного конденсатора в залежності від збільшення швидкості руху газопарової суміші

| Швидкість, м/с | Площа насадки КГПТУ, м ² | Довжина, м | Ширина, м |
|----------------|-------------------------------------|------------|-----------|
| 3,0 | 18,80 | 4,00 | 4,70 |
| 3,5 | 16,15 | 3,71 | 4,36 |
| 4,0 | 14,18 | 3,48 | 4,08 |
| 4,5 | 12,60 | 3,28 | 3,85 |
| 5,0 | 11,38 | 3,11 | 3,66 |
| 5,5 | 10,35 | 2,97 | 3,49 |
| 6,0 | 9,49 | 2,84 | 3,34 |

Результати розрахунків ККД та питомої потужності контактних газопаротурбінних установок від коефіцієнту відновлення тиску в діапазоні швидкостей газопарової суміші в контактних конденсаторах 3–6 м/с наведено у табл. 2.

Як і передбачалось підвищення швидкості газопарової суміші в контактних конденсаторах з 3 до 6 м/с призводить до зниження ККД до 0,3% абсолютних практично без зміни питомої потужності контактних газопаротурбінних установок, але зниження масогабаритних показників компенсує це і для енергетичних установок на об'єктах морської інфраструктури має певні переваги.

ВИСНОВКИ. 1. При збільшенні швидкості ГПС в контактному конденсаторі температура газопарової суміші збільшується на 2–3 К, а температура відведеної води знижується на 1 К і внаслідок цього кількість відведеної теплоти знижується на 4%.

2. При збільшенні швидкості руху та незмінних показниках контактного конденсатора його аеродинамічний супротив збільшується на 3540 Па головним чином внаслідок сітчастої тепломасообмінної насадки як елемента з найбільшим аеродинамічним спротивом. Зменшення перепаду тиску на сітчастій тепломасообмінній насадці досягається за рахунок

Таблиця 2. Техніко-економічні показники контактних газопаротурбінних установок в залежності від коефіцієнту відновлення тиску

| Коеф. відновл. тиску | ККД ГПТУ | $N_{уд}$, кВт/(кг/с) | T_4 , К | G , кг/сек |
|----------------------|----------|-----------------------|-----------|--------------|
| 0,986 | 0,4360 | 393,3513 | 736,0349 | 5,0980 |
| 0,984 | 0,4357 | 393,3506 | 736,3383 | 5,1093 |
| 0,983 | 0,4355 | 393,3500 | 736,5403 | 5,1168 |
| 0,980 | 0,4350 | 393,3487 | 737,0613 | 5,1361 |
| 0,977 | 0,4345 | 393,3472 | 737,6205 | 5,1568 |
| 0,974 | 0,4339 | 393,3458 | 738,1812 | 5,1776 |
| 0,971 | 0,4333 | 393,3442 | 738,7805 | 5,1998 |
| 0,967 | 0,4327 | 393,3426 | 739,4040 | 5,2229 |

зменшення її пористості, що можливо при корекції її конструкції завдяки розмірам сітки і каналів.

3. Підвищення швидкості газопарової суміші в контактних конденсаторах з 3 до 6 м/с призводить до зниження ККД до 0,3% абсолютних практично без зміни питомої потужності контактних газопаротурбінних установок, але зниження масогабаритних показників компенсує це і для енергетичних установок на об'єктах морської інфраструктури має певні переваги.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] **Бондин, Ю. Н.** Применение контактных газопаротурбинных установок для совместной выработки электрической и тепловой энергии [Текст] / Ю. Н. Бондин, В. Н. Чобенко // Вісник інженерної академії України. — К. : 2004. — № 1. — С. 22–28.
- [2] **Ісаков, Б. В.** Контактний конденсатор установки ГПУ-16К [Текст] / Б. В. Ісаков, С. М. Мовчан, В. С. Рассошанський та інші // Нафтова і газова промисловість. — К. : 2005. — № 5. — С. 53–55.
- [3] **Коломєєв, В. М.** Аналіз техніко-економічних показників і перспективи використання контактних газопаротурбінних установок на КС МГ України [Текст] / В. М. Коломєєв, М. О. Дикий, В. І. Избаш, та інші // Нафтова і газова промисловість. — К. : 2005. — № 3. — С. 43–46.
- [4] **Кузнецова, С. А.** Моделирование тепломассообменных и гидродинамических процессов в элементах циркуляционного контура контактних газопаротурбінних установок [Текст] // Промышленная теплотехника. — К. : 2003. — т. 25. — № 6. — С. 28–33.
- [5] Парогазовая установка контактного типа для ТЭЦ-28 [Текст] / Ю. Елисеєв, В. Беляєв, А. Маркелов, М. Синкевич // Двигатель. — 2002. — № 3 (21). — С. 12–14.
- [6] **Романовський, Г. Ф.** Теоретичні основи проектування суднових газотурбінних агрегатів [Текст] / Г. Ф. Романовський, М. В. Ващилєнко, С. І. Сербін. — Миколаїв : УДМУ, 2003. — 304 с.

© О. С. Борцов, А. П. Шевцов

Надійшла до редколегії 04.08.2016

Статтю рекомендує до друку член редколегії ЗНП НУК
д-р техн. наук, проф. С. І. Сербін