



**Oleksandr
S. Bortsov**
Олександр
Сергійович
Борцов

УДК 001.891:621.319.4

IMPROVING THE CONTACT GAS OF STEAM-TURBINE INSTALLATIONS OF OBJECTS OF MARINE INFRASTRUCTURE

**ВДОСКОНАЛЕННЯ КОНТАКТНИХ ГАЗОПАРОТУРБІННИХ УСТАНОВОК
ОБ'ЄКТІВ МОРСЬКОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ**

DOI [https://doi.org/10.15589/smi2019.1\(11\).8](https://doi.org/10.15589/smi2019.1(11).8)

Oleksandr S. Bortsov

Олександр Сергійович Борцов, соискатель
oleksandr.bortsov@nuos.edu.ua
ORCID: 0000-0003-0458-6064

Anatoliy P. Shevtsov

Анатолій Павлович Шевцов, докт. техн. наук, проф.
aootnet@ukr.net
ORCID: 0000-0002-8692-6458



**Anatoliy
P. Shevtsov**
Анатолій
Павлович
Шевцов

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв

Abstract. In the article, the directions of improvement of technical-economic, weight-size and ecological indicators of heat releases of gas-steam turbine contact installations in the production of mechanical, thermal and electric energy at the facilities of the marine infrastructure are investigated. Determination of technical and economic characteristics of contact gas steam turbine installations is made for installations with capacity from 4 to 40 MW. The weight and dimensions in the contact gas-steam-turbine installations are made with regard to the circuit design of the cooling systems and heat releases into the surrounding air and the sea. The product of water in a direct-contact condenser, as an element of the power plant of a marine infrastructure facility, at cooling temperatures of sea water is achieved due to the intensification of heat and mass transfer processes with an increase in the gas-vapor mixture rate. The substantiation of the use of the proposed solution was made by the methods of mathematical modeling and analysis of thermal processes with the cumulative action of a direct-contact condenser and cooler. It has been proved that when using condenser cooling water with a temperature of 10–25 °C in contact gas-steam-turbine installations, it results in a positive water production at constant rates of steam and gas stream up to 4.5 m/s. Under these conditions, there is a decrease in the flue gas temperature and an increase in the pressure drop of the exhaust gas-vapor mixture, which does not significantly affect the change in power of the power plant. The results of reducing the weight and size indicators of the elements of power plants were obtained for water-cooled cooling systems of steam and gas stream and features of their use during the year in the northern regions of the Black Sea, taking into account the temperature distribution of sea water depending on the depth.

Key words: water-cooled cooling system, condenser cooling water, sea, steam and gas stream, direct-contact condenser, heat release, weight-size indicators.

Анотація. У статті досліджено напрями поліпшення техніко-економічних, масогабаритних та екологічних показників за тепловими викидами контактних газопаротурбінних установок під час виробництва механічної, теплової та електричної енергії на об'єктах морської інфраструктури. Визначення техніко-економічних характеристик контактних газопаротурбінних установок виконано для установок потужністю від 4 до 40 МВт. Масогабаритні показники в контактних газопаротурбінних установках показано з урахуванням схемних рішень систем охолодження та теплових викидів у повітря та море. Надходження води в контактний конденсатор як елемент енергетичної установки об'єкта морської інфраструктури за температур охолоджуючої морської води досягається завдяки інтенсифікації тепломасообмінних процесів зі збільшенням швидкості газопарової суміші. Обґрунтування використання запропонованого рішення виконано методами математичного моделювання та аналізу теплотехнічних процесів за сукупної дії контактного конденсатора та охолоджувача. Доведено, що використання у контактних газопаротурбінних установках циркуляційної води з температурою 10–25°C призводить до позитивного надходження води при сталих показниках швидкості газопарової суміші до 4,5 м/с. За таких умов спостерігається зменшення температури вихідних газів та

збільшення перепаду тиску відпрацьованої газопарової суміші, що істотно не впливає на зміну потужності енергетичної установки. Результати зменшення масогабаритних показників елементів енергетичних установок отримано для водо-водяних систем охолодження газопарової суміші та вивчення особливостей їх використання протягом року в умовах північних регіонів Чорного моря з урахуванням розподілу температури морської води залежно від глибини.

Ключові слова: водо-водяна система охолодження, циркуляційна вода, море, газопаровий потік, контактний конденсатор, теплові викиди, масогабаритні показники.

References

- [1] Potreblenye y dobycha haza na terrytoryy Ukrainy s 2005 po 2016 hod. (2017). Polucheno yz <http://www.ukrstat.gov.ua/>.
- [2] Odesskoe mestorozhdenye Chernomorneftehaza. Polucheno yz <https://neftegaz.ru/news/view/169217-Chernomorneftegaz-letom-ostanovit-deyatelnost-na-Odesskom-mestorozhdenii>.
- [3] Chobenko V.N. (2004). Raschetno-eksperymentalnoe yssledovanye kharakterystyk kontaktnykh hazoparoturbynykh ustanovok «Vodolei». *Sbornyk nauchnykh trudov Nykolaevskoho unyversyteta korablestroeniya*, 5, 69-78.
- [4] S.N. Movchan, V.V. Rovanov, V.N. Chobenko, A.P. Shevtsov. (2009). Contact steam-and-gas turbine units of the «AQUARIUS» type. The present status & future prospects. *Proceedings of ASME Turbo Expo 2009: GT 2009-60339*. DOI: 10.1115/GT2009-60339
- [5] Kolomieiev V.M., Ksendziuk M.V., Romanov V.V., Movchan S.M., Shevtsov A.P., Kuznetsova S.A., Dykyi M.O. (2006). HPU-16K: Doslidno-promyslova ekspluatatsiia, mizhvidomchi pryimalni vyprobuvannia, perspektyvy vykorystannia. *Naftova i hazova promyslovist, Naukovo-vyrobnychyi zhurnal*, 4, 38-40.
- [6] Yzbash V.Y., Kucheruk N.V., Movchan S.N., Fylonenko A.A., Shevtsov A.P., Kuznetsova S.A. (2007). Opyt ekspluatatsyy y puty sovershenstvovaniya hazoperekachyvaiushchei ustanovky HPU-16K y ee sostavnykh chastei. *Promyshlennaia teplotekhnika, YTF NAN Ukrainy*, 29 (7), 120-124.
- [7] Kucherenko O.S., Movchan S.N., Romanov V.V., Chobenko V.N., Kuznetsova S.A., Shevtsov A.P. (2008). Kontaktnye hazoparoturbynnye ustanovky «Vodolei» – sostoianye y perspektyvy. *Suchasni tekhnologii v mashynobuduvanni. NTU «KhPI»*, 2, 197-209.
- [8] Yu. Bondyn, S. Movchan, S. Chernov, A. Shevtsov. (2005). Sovershenstvovanye korabelnykh enerhetycheskykh ustanovok. *Voennyi parad*, 2 (68), 54-56.
- [9] Kuznetsova S.A., Kuznetsov V.V. (2008). Enerhozberezhennia pry ekspluatatsii HPA na morskykh ob'iektakh vydobutku ta transportuvannia pryrodnoho hazu. *Enerhetyka: ekonomika, tekhnologii, ekolohiia, Naukovyi zhurnal. NTUU «Kyivskiy politekhnichnyi instytut»*, 2, 39-43.
- [10] Ysakov B.V., Chobenko V.N., Palyenko R.V. (2008). Sostoianye y perspektyvy razvytyia korabelnoi hazoturbynnoi enerhetyky. *Mekhanika, enerhetyka, ekolohiia. Vestnyk SevNTU*, 87, 56-61.
- [11] Kuznetsova S.A., Movchan S.N., Chobenko V.N. Shevtsov A.P. (2009). Kompleksnoe enerhoresursosberezhenye pry yspolzovanny kontaktnykh hazo-paroturbynykh ustanovok na morskykh ob'iektakh. *Vostochno-Evropeiskiy zhurnal peredovykh tekhnologii*, 4/4, (40).
- [12] Kuznetsova S.A., Movchan S.N., Chobenko V.N., Shevtsov A.P. (2011). KHPTU na plavelektrostantsyiakh. *Hazoturbynnye tekhnologii, oktiabr*, 8(99), 2 - 5.
- [13] Bortsov O.S., Shchevtsov A.P. (2018). Polipshennia masohabarytnykh pokaznykiv kontaktnykh kondensatoriv hazoparoturbinykh ustanovok dlia ob'iektiv morskoi infrastruktury. *Sudnobuduvannia ta morskia infrastruktura*. 2, 60-68
- [14] O.S. Bortsov. (2014). Vplyv obiemnoi kondensatsii vody pry forsuvanni shvydkosti hazoparovoho potoku na efektyvnist separatsii v kontaktnomu kondensatori. *Zbirnyk naukovykh prats NUK*. 6, 44-50.
- [15] Hosudarstvennoe predpriyatye nauchno-proyzvodstvennyi kompleks «Zoria-Mashproekt». Ekolohychesky chystaia tekhnolohiia polucheniya enerhyu «Vodolei». (2007). *Ynformatsyonnyi prospekt «Zoria-Mashproekt»*. 2-7.
- [16] Okhladytely masla y vody sudovye kozhukhotrubchatye s priamymy trubamy. OKSTU 8445-71. (1971)
- [17] Metodyka opredeleniya teplohydrodynamicheskyykh parametrov s uchetom OST5.4254-86 y OST VD5.4254-86. (1986)
- [18] Chernoe more. Polucheno yz https://ru.wikipedia.org/wiki/Chernoe_more
- [19] N. H. Zalohyn, L. Y. Kropp, Yu. M. Kostyryn. (1979). *Enerhetyka y okhrana okruzhaiushchei sredy*. Nauchnoe yzdanye. - Moskva: Enerhyia.

Постановка проблеми. Згідно зі статистичними даними видобуток та споживання природного газу в Україні приведено на рис. 1 [1].

Обмеженість ресурсів природного газу на материковій частині України потребує збільшення об'ємів розробки, видобутку та транспортування з морського шельфу [2].

Для транспортування природного газу раціонально використовувати газотурбінні газоперекачувальні агрегати, масові показники яких перебувають в межах від 4,2 до 50 тонн [3; 4; 5]. Розробка нових енергозбережних технологій з одночасним вирішенням екологічних завдань є пріоритетним напрямом науково-технічних досліджень енергетичних установок [6; 7]. Масогабаритні показники енергетичних установок на об'єктах морської інфраструктури повинні бути нижчими за показники стаціонарних установок континентального базування.

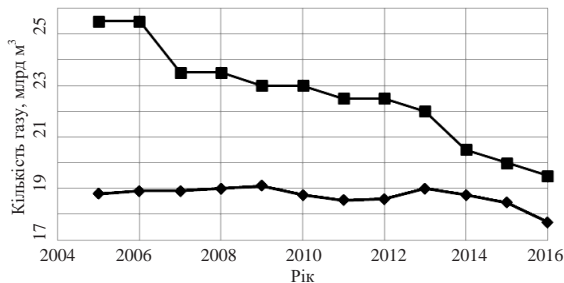


Рис. 1. Видобуток та споживання природного газу в Україні з 2005 до 2016 року: —◆— сумарний видобуток газу; —■— сумарне споживання газу

Перекачування вуглеводного палива у вигляді природного газу з морського шельфу потребує використання високоефективних, компактних, маневрених та безпечних енергетичних установок. Успішне промислове використання газоперекачувальної установки ГПУ-16К потужністю 16 МВт на газоперекачувальній станції «Ставищенська» та енергетичної ГПТУ-25 потужністю 25 МВт дає змогу розглядати контактні газопаротурбінні установки (далі – КГПТУ) потужністю до 40 МВт як перспективні енергетичні установки для кораблів та морських об'єктів, у тому числі плавелектростанцій і морських нафтогазових споруд [8; 9; 10]. Саме тому визначення напрямів зменшення масогабаритних показників таких установок, використання прісної води під час їх експлуатації, їх теплових і шкідливих викидів є важливим науково-технічним завданням [11; 12].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботі [11, с. 29–33] обґрунтована доцільність використання контактних газопаротурбінних установок у комплексному забезпеченні механічною роботою, електричною енергією та теплотою у вигляді насиченого пару та гарячої води технологічних та суднових потреб. У роботі наводиться рішення зниження масогабаритних показників контактного конденсатора як елемента контактної газопаротурбінної установки,

забезпечення повернення води в цикл через підвищення ефективності вологовідділення та збільшення швидкості руху газопарової суміші [12, с. 2–5].

Виокремлення не вирішених раніше частин загальної проблеми. У проведених дослідженнях відсутній аналіз ефективності взаємодії елементів енергетичної установки в умовах морської інфраструктури, а саме контактного конденсатора та охолоджувача циркуляційної води продовж сезонів року, а також їх впливу на техніко-економічні, масогабаритні та екологічні показники контактних газопаротурбінних установок різної потужності.

Метою дослідження є обґрунтування напрямів поліпшення техніко-економічних, масогабаритних та екологічних показників контактних газопаротурбінних установок різної потужності за ефективного виробництва механічної, теплової та електричної енергії в умовах об'єктів морської інфраструктури.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- 1) визначити техніко-економічні характеристики контактних газопаротурбінних установок потужністю від 4 до 40 МВт в умовах об'єктів морської інфраструктури;
- 2) визначити масогабаритні показники контактних газопаротурбінних установок з урахуванням схемних рішень систем охолодження;
- 3) обґрунтувати напрямки вдосконалення контактних газопаротурбінних установок різної потужності за техніко-економічними та тепловими викидами в повітря та море.

Метод дослідження – математичне моделювання теплотехнічних процесів КГПТУ.

Об'єкт дослідження – теплотехнічні процеси у КГПТУ.

Предмет дослідження – техніко-економічні, масогабаритні та екологічні показники КГПТУ.

Основний матеріал. *Визначення техніко-економічних характеристик контактних газопаротурбінних установок потужністю від 4 до 40 МВт в умовах об'єктів морської інфраструктури.*

В умовах морського розташування КГПТУ можливе використання для охолодження циркуляційної води забортної води, тобто водо-водяне охолодження (рис. 2).

Техніко-економічні характеристики енергетичних установок визначалися за умов форсування швидкості газопарової суміші (далі – ГПС) на вході у контактний конденсатор до 4,5 м/с, що обґрунтовано у роботі [12, с. 2–5]. Розрахунки циклу КГПТУ залежно від швидкості газопарової суміші та зміни температури циркуляційної води контактного конденсатора виконані за допомогою математичної моделі з урахуванням процесів об'ємної конденсації [13; 14].

У таблиці 1 наведені результати розрахунків ККД та питомої потужності $N_{уд}$ контактних газопаротурбінних установок, температури за двигуном газопарової суміші T_d та її питомої витрати G від коефіцієнту відновлення тиску.

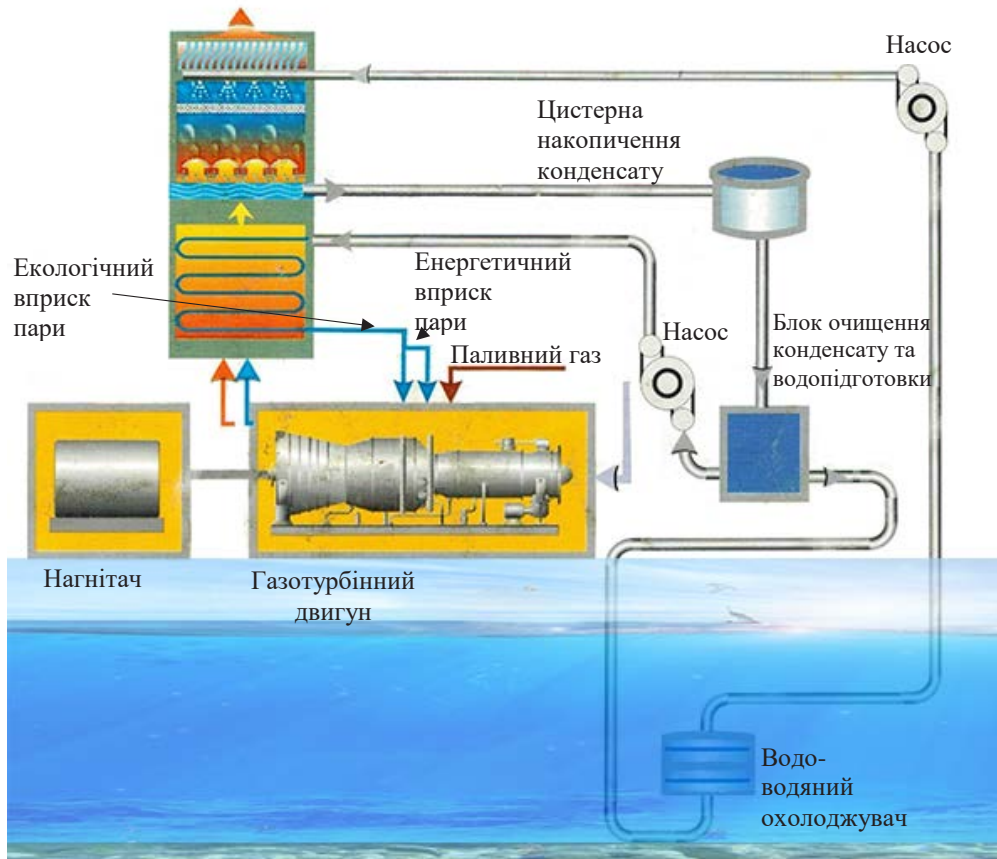


Рис. 2. Схематична компоновка енергетичної установки

Таблиця 1. Техніко-економічні показники контактних газопаротурбінних установок залежно від коефіцієнта відновлення тиску

Коеф. відновл. тиску	ККД КГПТУ	$N_{уд}$ кВт/(кг/с)	T_d , 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

Визначення характеристик контактних конденсаторів за температурами робочих тіл виконано для діапазону швидкостей ГПС 3–4,5 м/с та зміни температури циркуляційної води з 5 до 35°C та представлено на рис. 3–6.

Сумарний аеродинамічний спротив тиску газопарової суміші у контактному конденсаторі і його тепломасообмінній насадці збільшується у разі підвищення швидкості газопарової суміші та температури циркуляційної води з 1409,3 Па за швидкості 3 м/с та температури циркуляційної води 5°C до 2494,9 Па за швидкості 4,5 м/с та температури циркуляційної води 35°C (рис. 6).

Згідно з отриманими результатами теплотехнічного розрахунку позитивний видобуток води за швидкості газопарової суміші 4,5 м/с відповідає

температурі циркуляційної води на рівні 27°C та нижче.

Визначення масогабаритних показників контактних газопаротурбінних установок з урахуванням схемних рішень систем охолодження.

Зміни габаритних показників контактного конденсатора залежно від потужності КГПТУ та швидкості ГПС на вході у контактний конденсатор наведені у таблиці 2, а масогабаритні показники енергетичних установок з використанням контактних конденсаторів та урахуванням схемних рішень охолодження представлені у таблиці 3.

Обґрунтування напрямів вдосконалення контактних газопаротурбінних установок різної потужності за техніко-економічними, тепловими викидами в повітря та море.

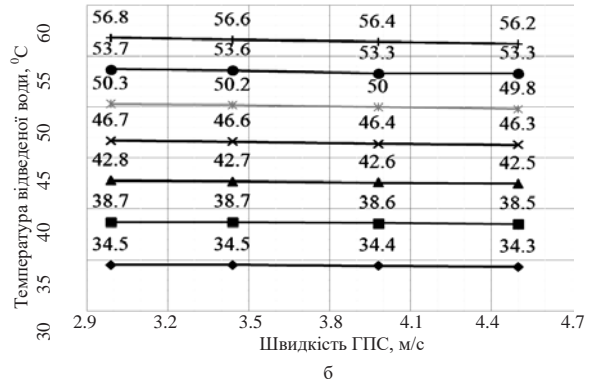
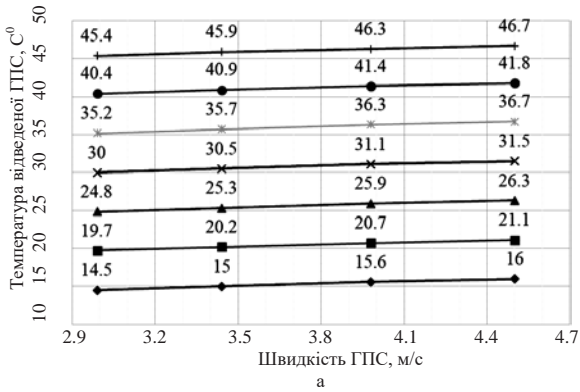


Рис. 3. Залежність вихідної температури води від швидкості руху ГПС: а) температура ГПС; б) температура відведеної води. Вхідна температура охолоджуючої води у КК: —◆— 5°C, —■— 10°C, —▲— 15°C, —✕— 20°C, —*— 25°C, —●— 30°C, —+— 35°C

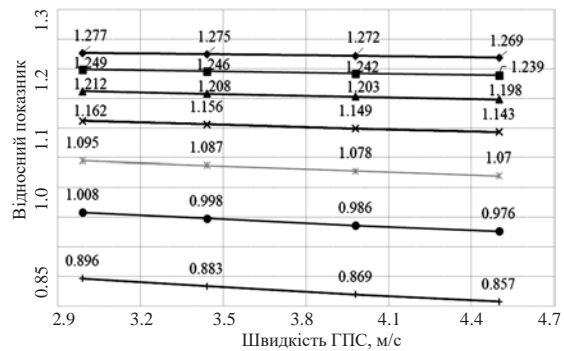
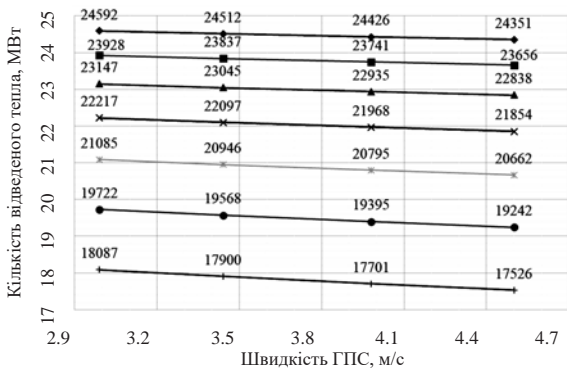


Рис. 4. Кількість відведеної теплоти залежно від швидкості ГПС. Вхідна температура охолоджуючої води у КК: —◆— 5°C, —■— 10°C, —▲— 15°C, —✕— 20°C, —*— 25°C, —●— 30°C, —+— 35°C

Рис. 5. Результат надходження води залежно від швидкості ГПС. Вхідна температура охолоджуючої води у КК: —◆— 5°C, —■— 10°C, —▲— 15°C, —✕— 20°C, —*— 25°C, —●— 30°C, —+— 35°C

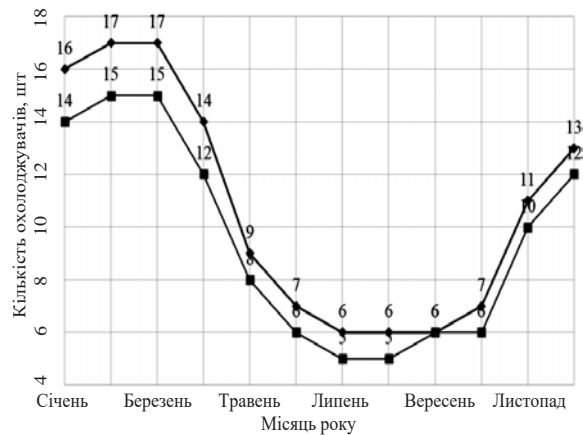
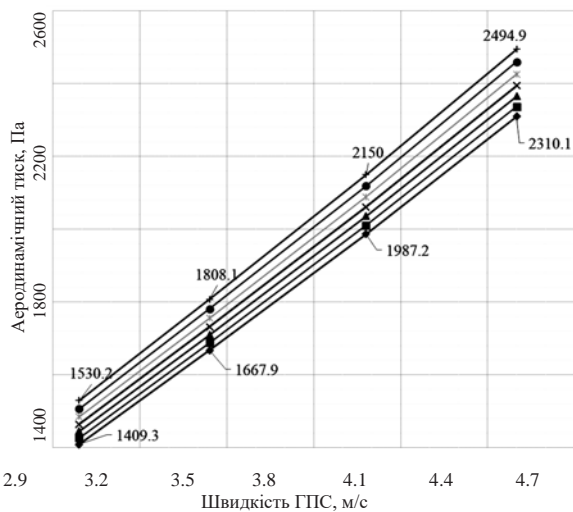


Рис. 6. Перепад тиску залежно від швидкості газопарової суміші. Вхідна температура охолоджуючої води у КК: —◆— 5°C, —■— 10°C, —▲— 15°C, —✕— 20°C, —*— 25°C, —●— 30°C, —+— 35°C

Рис. 7. Необхідна кількість водо-водяних охолоджувачів залежно від місяця року для енергетичної установки КПТУ 25 за вхідної температури води для охолодження в КК: —◆— 10°C, —■— 25°C

Залежно від пори року коливання температури середовища впливають на використання систем охолодження циркуляційної води контактних газопаротурбінних установок. У таблиці 4 представлена залежність температури води від глибини та місяця року для північних ділянок Чорного моря [17].

Для охолодження циркуляційної води контактної газопаротурбінної установки в умовах експлуатації на об'єктах морської інфраструктури доцільним є використання суднових водо-водяних охолоджувачів, які використовують морську воду як охолоджувальну рідину. Оскільки глибина газових родовищ колива-

Таблиця 2. Габаритні показники контактних конденсаторів для КГПТУ потужністю від 4 до 40 МВт

Потужність установки, МВт	Швидкість, м/с	Розміри поперечного перерізу контактного конденсатора		
		Площа, м ²	Довжина, м	Ширина, м
4	3,31	10,27	2,96	3,47
	3,5	9,65	2,87	3,37
	4,0	8,49	2,69	3,16
	4,5	7,47	2,52	2,96
16	3,31	17,1	3,82	4,48
	3,5	16,15	3,71	4,36
	4,0	14,18	3,48	4,08
25	4,5	12,60	3,28	3,85
	3,31	25,65	4,67	5,49
	3,5	24,21	4,54	5,33
40	4,0	21,3	4,26	5,00
	4,5	18,75	4,00	4,69
	3,31	44,46	6,15	7,23
40	3,5	41,8	5,97	7,01
	4,0	36,78	5,60	6,57
	4,5	32,36	5,25	6,16

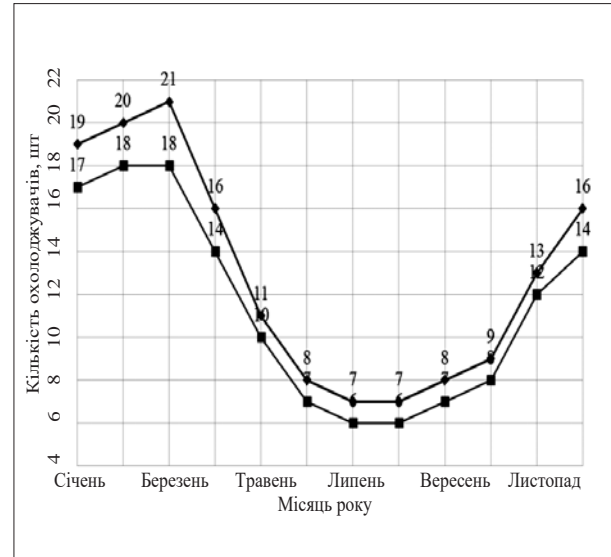


Рис. 8. Необхідна кількість водо-водяних охолоджувачів залежно від місяця року для енергетичної установки КГПТУ 40 за вхідної температури води для охолодження в КК: —◆— 10°C, —■— 25°C

Таблиця 3. Масогабаритні показники елементів контактних масогабаритних установок [15; 16]

Енергетична установка	КГПТУ 4	КГПТУ 16	КГПТУ 25	КГПТУ 40
ГТД	UGT 2500	UGT 10000S2	UGT 15000S2	UGT 25000S2
Маса двигуна, т	4,25	5,75	10,35	18,4
Маса КУП, сухий, т	15-17,6	30	41,25	60-70,4
Маса КК, сухий, т	3,2-5	8	12-12,5	20
Марка охолоджувального пристрою	ОКН 376-1050-2			
Габаритні розміри, м	4,76 x 1,41 x 1,41			
Маса водо-водяного охолоджувача, т	5,675			
Кількість водо-водяних охолоджувачів, шт	4	9	17	21
Сумарна маса водо-водяних охолоджувачів, т	22,7	51,1	96,5	119,2

Таблиця 4. Середня температура води на місяцях залежно від глибини Чорного моря

Глибина, м	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	7,7	7,2	6,8	9,2	14,1	19,8	22,8	23,8	20,8	18,7	11,7	9,5
10	7,7	7,1	6,8	9,0	12,8	18,5	21,8	23,6	20,7	18,6	11,8	9,6
20	7,7	7,0	6,7	8,4	10,2	11,9	12,2	13,6	19,2	17,9	11,6	9,6
30	7,7	7,0	6,6	7,7	7,9	7,8	8,5	9,0	9,1	12,0	10,4	9,2
50	7,6	7,4	7,3	7,6	7,4	7,3	7,4	7,6	7,2	8,0	7,6	7,8
100	8,3	8,4	8,4	8,4	8,3	8,3	8,4	8,3	8,3	8,2	8,3	8,3

ється від 22 до 56 м, то діапазон мінімальних значень температури води у морі від 7 до 12°C коливається на глибинах від 30 до 75 м. Для цих умов раціонально використовувати охолоджувачі ОКН 376-1050-2 пропускної спроможності до 100 кг/с [16; 17].

Згідно з тепловим розрахунком температура циркуляційної води на виході з контактного конденсатора $T_{\text{вих.КК}}$ дорівнює температурі входу циркуляційної води в водо-водяний охолоджувач $T_{\text{вих.ОХ}}$, вхідна температура циркуляційної води в контактний конденсатор $T_{\text{вих.КК}}$ дорівнює вихідній температурі циркуляційної води з водо-водяного охолоджувача $T_{\text{вих.ОХ}}$. Охолодження циркуляційної води в апаратах водо-водяного охолодження здійснюється забортною морською водою з глибини 50–70 м, яка після підігріву відводиться в поверхневий шар з урахуванням гідрологічних характеристик ділянок Чорного моря (табл. 3) та норм екологічної безпеки [18].

На рис. 7, 8 представлена необхідна кількість водо-водяних охолоджувачів при охолодженні морською водою різних типів енергетичних установок залежно від місяця року з урахуванням екологічних вимог теплових викидів [19].

Обговорення отриманих результатів. Підвищення швидкості газопарової суміші в контактних конденсаторах з 3,5 до 4,5 м/с призводить до зниження ККД контактних газопаротурбінних установок до 0,3% практично без зміни питомої потужності та зменшує масогабаритні показники установки до 35%, що є вагомим аргументом доцільності цих енергетичних установок на об'єктах морської інфраструктури. За таких умов маса контактного конденсатора зменшиться з 8 до 5,2 тонн, а площа поперечного перерізу – з 17,1 до 12,6 м².

Використання водо-водяних охолоджувачів в умовах морського базування контактних газопаротурбінних установок КПТУ 16 дасть змогу додаткового зменшення їх масогабаритних показників порівняно з континентальним розташуванням завдяки зменшенню маси з 230 т (семи апаратів повітряного охолодження

1АВ3) до 51,1 т. Також це дозволить отримати позитивний видобуток води при експлуатації протягом року та забезпечити екологічні норми скиду нагрітої води в море за тепловими показниками.

Позитивним стане використання в складі контактних газопаротурбінних установок водо-водяних охолоджувачів без конструктивних змін енергетичної установки завдяки теплотехнічним процесам у контактному конденсаторі.

Залежно від коливання температури морської води на глибинах від 50 до 70 м та від 1 до 10 м з урахуванням пори року кількість водо-водяних охолоджувачів значно змінюється. Найбільша їх кількість використовується з лютого до квітня внаслідок зменшення різниці температур на різних глибинах.

ВИСНОВКИ

1. Використання контактних газопаротурбінних установок на об'єктах морської інфраструктури дозволяє здійснити їх подальше вдосконалення та поліпшити їх техніко-економічні, масогабаритні та екологічні за тепловими викидами показники завдяки інтенсифікації тепломасообмінних процесів зі збільшенням швидкості газопарової суміші.

2. Збільшення швидкості газопарової суміші у контактному конденсаторі до 4,5 м/с з температурними показниками циркуляційної води від 10 до 25°C призводить до позитивного добутку води та дозволяє зменшити масогабаритні показники контактних конденсаторів та контактних газопаротурбінних установок в цілому на 3–5 тонн залежно від потужності установки.

3. Використання водо-водяних охолоджувачів у складі систем охолодження циркуляційної води контактних газопаротурбінних установок на об'єктах морської інфраструктури з урахуванням розподілу температури морської води залежно від глибини в умовах північних регіонів Чорного моря дозволяє додатково зменшити масогабаритні показники всієї системи охолодження на 80–440 тонн залежно від потужності установки.

Список літератури:

- [1] Потребление и добыча газа на территории Украины с 2005 по 2016 год. 2017. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua/>.
- [2] Одесское месторождение Черноморнефтегаза. URL: <https://neftgaz.ru/news/view/169217-Chernomorneftgaz-letom-ostanovit-deyatelnost-na-Odesskom-mestorozhdenii>.
- [3] Чобенко В.Н.. Расчетно-экспериментальное исследование характеристик контактных газопаротурбинных установок «Водолей». *Сборник научных трудов Николаевского университета кораблестроения*. 2004. № 5. С. 69–78.
- [4] Movchan S.N., Rovnov V.V., Chobenko V.N., Shevtsov A.P. (). Contact steam-and-gas turbine units of the "AQUARIUS" type. The present status & future prospects. 2009. *Proceedings of ASME Turbo Expo 2009: GT 2009-60339*. DOI: 10.1115/GT2009-60339.
- [5] Коломеєв В.М., Ксендзюк М.В., Романов В.В., Мовчан С.М., Шевцов А.П., Кузнецова С.А., Дикий М.О. ГПУ-16К: Дослідно-промислова експлуатація, міжвідомчі приймальні випробування, перспективи використання. *Нафтова і газова промисловість* : науково-виробничий журнал. 2006. № 4. С. 38–40.
- [6] Избаш В.И., Кучерук Н.В., Мовчан С.Н., Филоненко А.А., Шевцов А.П., Кузнецова С.А. Опыт эксплуатации и пути совершенствования газоперекачивающей установки ГПУ-16К и ее составных частей. *Промышленная теплотехника, ИТТФ НАН Украины*. 2007. № 29 (7). С. 120–124.

- [7] Кучеренко О.С., Мовчан С.Н., Романов В.В., Чобенко В.Н., Кузнецова С.А., Шевцов А.П. Контактные газопаротурбинные установки «Водолей» – состояние и перспективы. *Сучасні технології в машинобудуванні. НТУ «ХПИ»*. 2008. № 2. С. 197–209.
- [8] Бондин Ю., Мовчан С., Чернов С., Шевцов А. Совершенствование корабельных энергетических установок. *Военный парад*. 2005. № 2 (68). С. 54–56.
- [9] Кузнецова С.А., Кузнецов В.В. Энергозбереження при експлуатації ГПА на морських об'єктах видобутку та транспортування природного газу. *Енергетика: економіка, технології, екологія* : науковий журнал. НТУУ «Київський політехнічний інститут». 2008. № 2. 39–43.
- [10] Исаков Б.В., Чобенко В.Н., Палиенко Р.В. Состояние и перспективы развития корабельной газотурбинной энергетики. *Механика, энергетика, экология. Вестник СевНТУ*. 2008. № 87. 56–61.
- [11] Кузнецова С.А., Мовчан С.Н., Чобенко В.Н., Шевцов А.П. Комплексное энергоресурсосбережение при использовании контактных газо-паротурбинных установок на морских объектах. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2009. № 4/4, (40).
- [12] Кузнецова С.А., Мовчан С.Н., Чобенко В.Н., Шевцов А.П. КГПТУ на плавэлектростанциях. *Газотурбинные технологии*. 2011. № 8 (99). С. 2–5.
- [13] Борцов О.С., Шевцов А.П. Поліпшення масогабаритних показників контактних конденсаторів газопаротурбінних установок для об'єктів морської інфраструктури. *Суднобудування та морська інфраструктура*. 2018. № 2. С. 60–68.
- [14] Борцов О.С. Вплив об'ємної конденсації води при форсуванні швидкості газопарового потоку на ефективність сепарації в контактному конденсаторі : збірник наукових праць НУК. 2014. № 6. С. 44–50.
- [15] Государственное предприятие научно-производственный комплекс «Зоря-Машпроект». Экологически чистая технология получения энергии «Водолей». (2007). *Информационный проспект «Зоря-Машпроект»*. 2–7.
- [16] Охладители масла и воды судовые кожухотрубчатые с прямыми трубами. ОКСТУ 8445-71. (1971).
- [17] Методика определения теплогидродинамических параметров с учетом ОСТ5.4254-86 и ОСТ ВД5.4254-86. (1986).
- [18] Черное море. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Чёрное_море.
- [19] Залогин Н. Г., Кропш Л.И., Кострикин Ю.М. Энергетика и охрана окружающей среды. Москва : Энергия, 1979.