

УДК 621.438-714

doi: 10.32620/aktt.2019.4.01

А. М. РАДЧЕНКО¹, М. І. РАДЧЕНКО¹, Я. ЗОНМІН²,
С. А. КАНТОР³, Б. С. ПОРТНОЙ¹¹ Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, Україна² Цзяньсунський університет науки і технологій, КНР³ ПАТ "Завод "Екватор", Україна

ЕКОЛОГІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ОХОЛОДЖЕННЯ ПОВІТРЯ НА ВХОДІ ГТУ В РІЗНИХ КЛІМАТИЧНИХ УМОВАХ

Робота газотурбінних установок суттєво залежить від температура зовнішнього повітря на вході, і чим вона вище, тим більше питомі витрати палива – на виробництво одиної потужності (механічної/електричної енергії), а відтак і більше шкідливих речовин потрапляє в атмосферу з відпрацьованими газами. Для зменшення негативного впливу непродуктивних витрат палива при роботі газотурбінних установок за підвищених температур зовнішнього повітря вдаються до охолодження повітря на вході. В роботі досліджено екологічну ефективність охолодження повітря на вході газотурбінних установок з урахуванням змінних упродовж року кліматичних умов експлуатації для регіонів з різними кліматичними умовами упродовж п'яти років (2014–2018): помірного клімату України (на прикладі міст Суми і Тернопіль) та субтропічного клімату КНР (на прикладі міст Пекін і Нанкін). В якості показників оцінки екологічного ефекту від охолодження повітря обрано сумарне по накопиченню щорічне скорочення викидів двооксиду вуглецю CO_2 та оксиду азоту NO_x . Показано, що більш глибоке охолодження повітря на вході газотурбінних установок до 7...10 °С забезпечує практично у півтора-два рази більше скорочення питомих витрат палива, відповідно і шкідливих викидів, порівняно з традиційним охолодженням до 15 °С найбільш поширеними абсорбційними бромистолітєвими холодильними машинами, причому для помірного клімату України відносний ефект суттєво більший, ніж для субтропічних кліматичних умов КНР. Скорочення викидів двооксиду вуглецю CO_2 за п'ять років для клімату КНР при охолодженні повітря до 10 °С орієнтовно складає понад 500 т, а для України – понад 240 т, а оксиду азоту NO_x – приблизно 3,5 т для КНР та 1,6 т для України, тоді як при традиційному охолодженні до 15 °С: понад 300 т для КНР, а для України – біля 120 т, а оксиду азоту NO_x – приблизно 2 т для КНР та 0,7 т для України. Виходячи з результатів орієнтовної оцінки екологічного ефекту від охолодження зовнішнього повітря на вході газотурбінних установок, в умовах помірного клімату України особливо доцільним є глибоке охолодження повітря, яке забезпечує практично вдвічі більший ефект порівняно з традиційним охолодженням до 15 °С.

Ключові слова: екологія; клімат; газотурбінна установка; охолодження; холодильна машина.

1. Аналіз проблеми і постановка мети дослідження

З підвищенням температури зовнішнього повітря $t_{зп}$ на вході в ГТУ витрата палива збільшується, ККД і потужність знижуються [1]. Екологічний ефект від охолодження повітря на вході ГТУ теж суттєво залежить кліматичних умов і глибини охолодження. Так, в найбільш поширених високоефективних абсорбційних бромистолітєвих холодильних машинах (АБХМ) можливе охолодження повітря до температури 15 °С (температура холодної води 7 °С) при високих теплових коефіцієнтах $\zeta = 0,7...0,8$, тоді як в хладонових, зокрема ежекторних холодильних машинах (ЕХМ) – до 7...10 °С і нижче (температура кипіння хладоноу в повітроохолоджувачі 2...4 °С), однак при невисоких теплових коефіцієнтах $\zeta = 0,2...0,3$.

Мета роботи – оцінка екологічної ефективності охолодження повітря на вході ГТУ в різних кліматичних умовах.

2. Результати дослідження

Оцінку екологічного ефекту від охолодження повітря на вході проведено для UGT 10000 номінальною потужністю 10,5 МВт, для якої зниження температури повітря $\Delta t_{п}$ на 1 °С приводить до зменшення питомої витрати палива $\Delta b_{e1^{\circ}C} = \Delta b_e / \Delta t_{п}$ на 0,7 г/(кВт·год) [2]. Розрахунки скорочення споживання палива ГТУ B завдяки охолодженню повітря на вході ГТУ проведено для помірного клімату України та субтропічного клімату КНР (рис. 1). Поточне скорочення споживання палива B розраховували як $B = \Delta b_e \cdot N_e \cdot \tau_i$, а зменшення питомої витрати палива $\Delta b_e = \Delta b_{e1^{\circ}C} \cdot \Delta t_{п}$, де $\Delta t_{п} = t_{зп} - t_{п2}$.

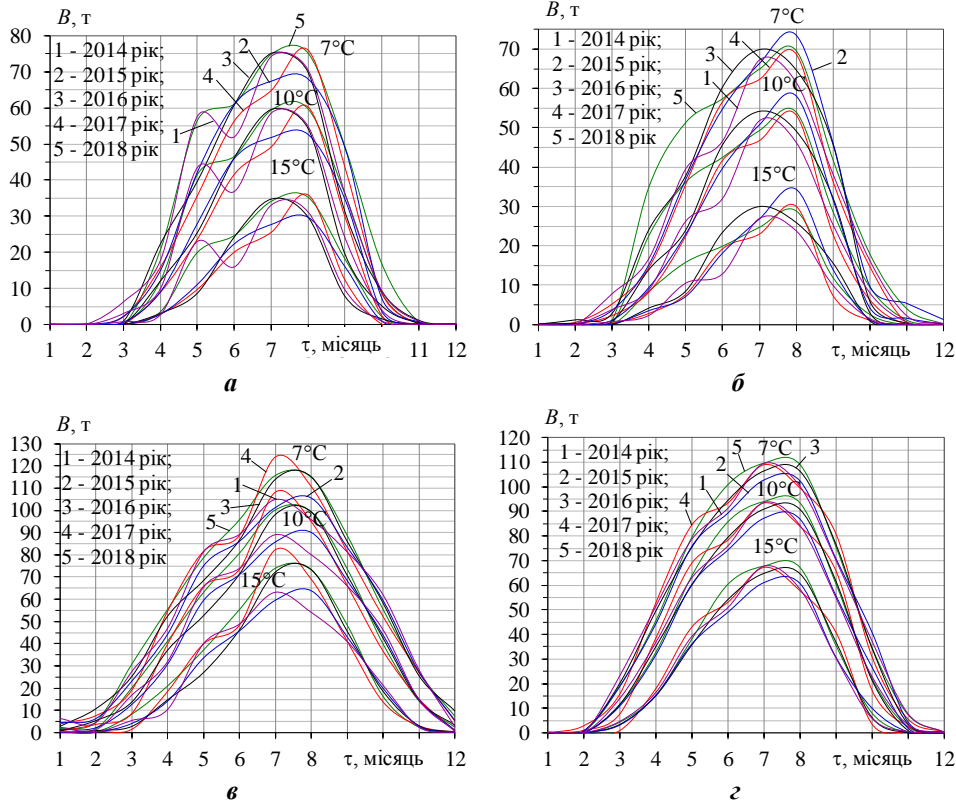


Рис. 1. Скорочення споживання палива B для ГТУ UGT 10000 по місяцях упродовж року при охолодженні повітря на вході до 7, 10 і 15 °C на протязі 2014 – 2018 років:
а–Суми; **б**–Тернопіль, Україна; **в**–Нанкін; **г**–Пекін, КНР

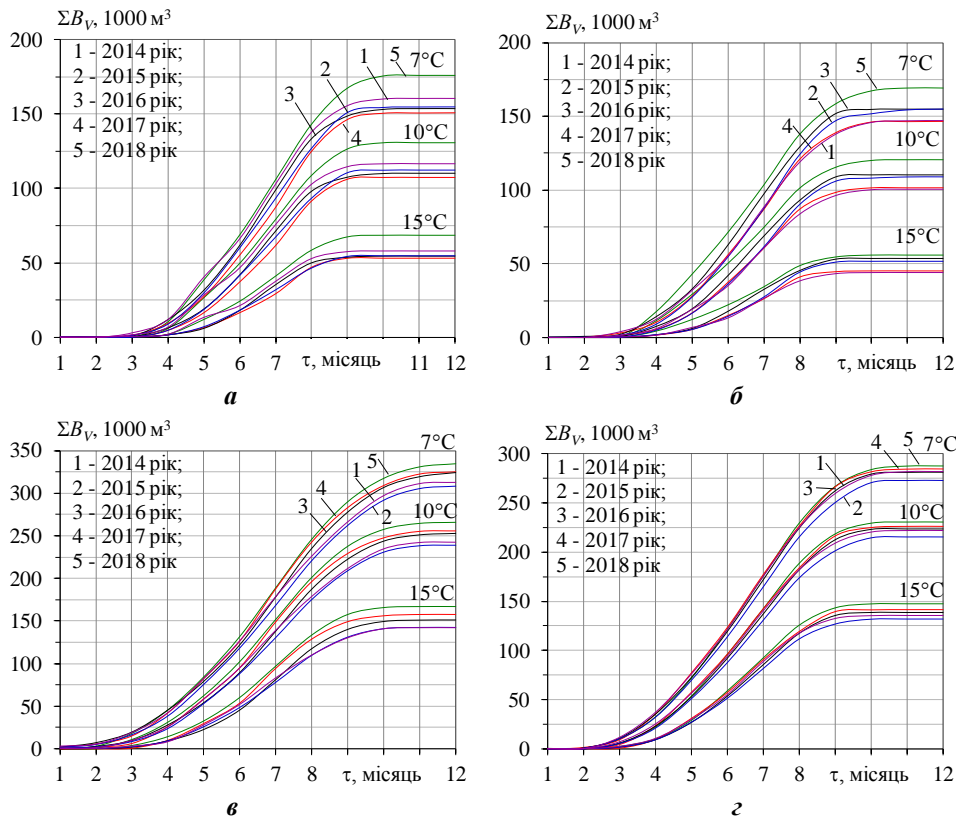


Рис. 2. Скорочення витрат палива ΣB_e для ГТУ UGT 10000 за накопиченням упродовж року при охолодженні повітря на вході ГТУ до 7, 10 і 15 °C на протязі 2014 – 2018 років:
а– Суми; **б**– Тернопіль; **в**– Нанкін, КНР; **г**– Пекін, КНР

Як видно з рис. 2, при охолодженні повітря на вході ГТУ до 15°C щорічна економія палива становить 35...65 тис. м³ для помірного клімату України та 135...170 тис. м³ для субтропічного клімату КНР. При охолодженні повітря до 10°C економія палива зростає до 100...130 та 210...270 тис. м³ відповідно для умов України та КНР.

Враховуючи, що кожний зекономлений кубічний метр палива для ГТУ зменшує викиди двооксиду вуглецю CO₂ на 428,7 г, а оксиду азоту NO_x на 2,78 г [3] було розраховано щорічне зменшення шкідливих викидів за 2014...2018 роки (рис. 3, 4).

Як видно з рис. 3, охолодження повітря до 15°C дозволяє скоротити викиди CO₂ на 18...70 т щорічно в залежності від кліматичних умов регіону. За п'ять років скорочення викидів CO₂ сягає 300 т.

Більш глибоке охолодження до 10°C забезпечує їх скорочення до 500 т для кліматичних умов КНР та 240 т для умов України, а до 7°C – 690 т та 340 т для КНР і України відповідно.

Як видно, при охолодженні повітря до 15°C викиди NO_x скорочуються на 0,12...0,45 т щорічно, тоді як за п'ять років при глибокому охолодженні до 10°C – до 3,5 т для умов КНР та 1,6 т для України, а до 7°C – 4,45 т та 2,2 т для умов КНР і України відповідно.

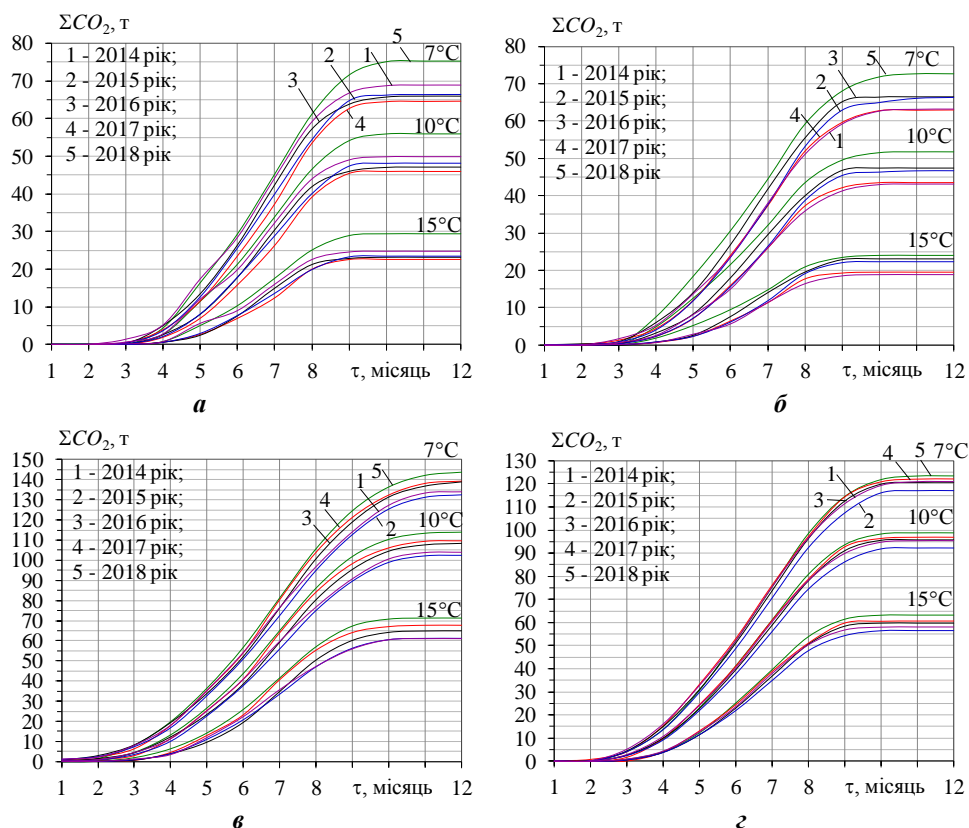


Рис. 3. Скорочення викидів двооксиду вуглецю ΣCO_2 за накопиченням упродовж року при охолодженні повітря на вході ГТУ до 7, 10 і 15 °C за 2014 – 2018 рр.: а – Суми; б – Тернопіль; в – Нанкін; г – Пекін

Висновки

Проаналізовано охолодження повітря на вході ГТУ для субтропічного (на прикладі КНР) та помірного клімату (Україна) на протязі п'яти років. Показано, що скорочення викидів CO₂ і NO_x при охолодженні повітря до 7...10 °C порівняно з 10 °C для кліматичних умов України більше ніж для КНР.

Література

1. International Energy Agency., *Combined Heat and Power: Evaluating the Benefits of Greater Global Investment*. – 2008.
2. СТО Газпром 2-1.19-332-2009. *Технические нормативы выбросов. Газоперекачивающие агрегаты ОАО "Газпром"*. – М. : ОАО "Газпром", 2009. – 87 с.
3. *Николаевские газовые турбины промышленного применения [Текст]*. – Николаев : ГП НПКГТ "Зоря-Машипроект", 2004. – 20 с.

References

1. International Energy Agency., *Combined Heat and Power: Evaluating the Benefits of Greater Global Investment*. – 2008.

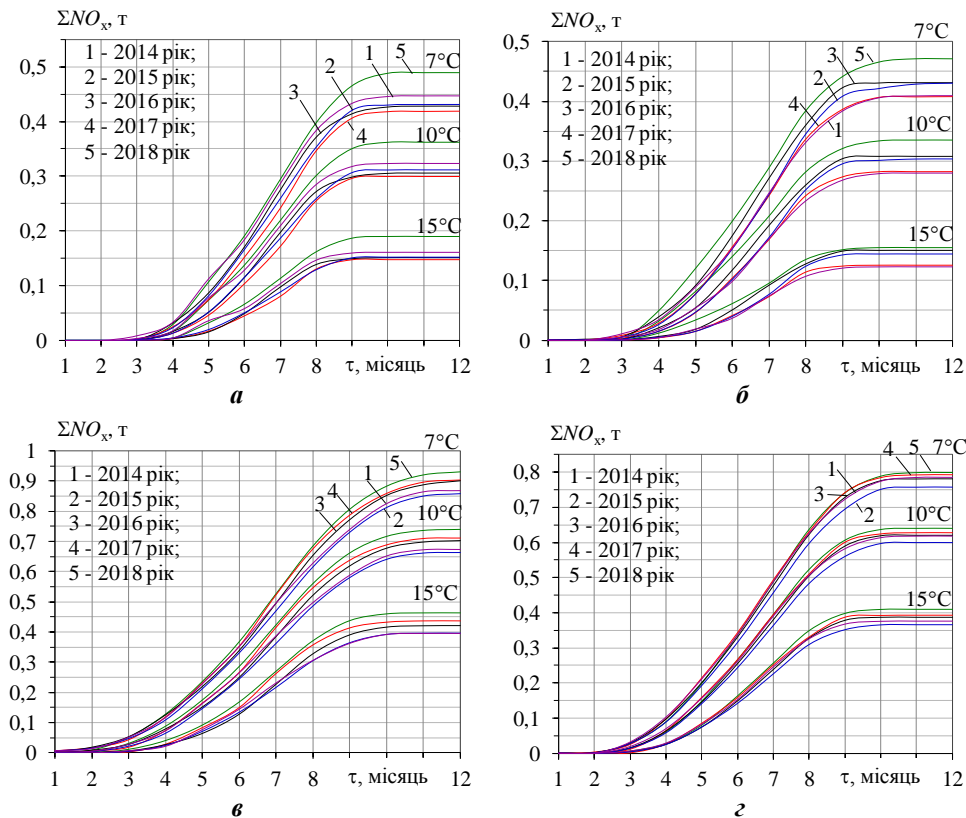


Рис. 4. Сокращения выкидов оксиду азота ΣNO_x за накоплением упродовж року при охолодженні повітря на вході ГТУ до 7, 10 і 15 °С за 2014 – 2018 рр.: а– Суми; б –Тернопіль; в – Нанкін; г –Пекин

2. *STO Gazprom 2-1.19-332-2009. Tekhnicheskie normativy vybrosov. Gazoperekachivayushchie agregaty OAO "Gazprom" [Technical emission standards. Gas pumping units of JSC "Gazprom"]. Moscow, OAO "Gazprom" Publ., 2009. 87 p.*

3. *Nykolaevskyye hazovyye turbyny promyshlennoho prymerenyya [Nikolaev gas turbines of industrial application]. Nikolaev, HP NPKHT "Zorya-Mashproekt" – SE SPCGTC "Zorya-Mashproekt" Publ., 2004. 20 p.*

Поступила в редакцию 12.04.2019, рассмотрена на редколлегии 7.08.2019

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОХЛАЖДЕНИЯ ВОЗДУХА НА ВХОДЕ ГТУ В РАЗНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

А. Н. Радченко, Н. И. Радченко, Я. Зонмин, С. А. Кантор, Б. С. Портной

Работа газотурбинных установок существенно зависит от температура наружного воздуха на входе, и чем она выше, тем больше удельный расход топлива – на производство единичной мощности (механической/электрической энергии), а соответственно и больше вредных веществ попадает в атмосферу с отработавшими газами. Для уменьшения негативного влияния непроизводительных расходов топлива при работе газотурбинных установок при повышенных температурах наружного воздуха прибегают к охлаждению воздуха на входе. В работе исследовано экологическую эффективность охлаждения воздуха на входе газотурбинных установок с учетом переменных течение года климатических условий эксплуатации для регионов с разными климатическими условиями в течение пяти лет (2014-2018): умеренного климата Украины (на примере городов Сумы и Тернополь) и субтропического климата КНР (на примере городов Пекин и Нанкин). В качестве показателей оценки экологического эффекта от охлаждения воздуха выбрано суммарное по накоплению ежегодное сокращение выбросов двуокси углерода CO_2 и оксида азота NO_x . Показано, что более глубокое охлаждение воздуха на входе газотурбинных установок до 7...10 °С обеспечивает практически в полтора-два раза большее сокращение удельного расхода топлива, соответственно и вредных выбросов по сравнению с традиционным охлаждением до 15 °С наиболее распространенными абсорбционными бромистолитиевыми холодильными машинами, причем для умеренного климата Украины относительный эффект существенно больший, чем для субтропических климатических условий КНР. Сокращение выбросов двуокси углерода CO_2 за пять лет для климата КНР при охлаждении воздуха до 10 °С ориентировочно составляет более 500 т, а для Украины – более 240 т, а оксида азота NO_x - примерно 3,5 т для КНР и 1,6 т для

Украины, тогда как при традиционном охлаждении до 15 °С: более 300 т для КНР, а для Украины – около 120 т, а оксида азота NO_x – приблизительно 2 т для КНР и 0,7 т для Украины. Исходя из результатов ориентировочной оценки экологического эффекта от охлаждения наружного воздуха на входе газотурбинных установок, в условиях умеренного климата Украины особенно целесообразно глубокое охлаждение воздуха, что обеспечивает практически вдвое больший эффект по сравнению с традиционным охлаждением до 15 °С.

Ключевые слова: экология; климат; газотурбинная установка; охлаждение; холодильная машина.

ECOLOGICAL EFFICIENCY OF GTU INLET AIR COOLING IN DIFFERENT CLIMATIC CONDITIONS

A. M. Radchenko, M. I. Radchenko, Y. Zongming, S. A. Kantor, B. S. Portnoi

The operation of gas turbine units significantly depends on the ambient air temperature at the inlet, and the higher it is, the greater the specific fuel consumption is spent for the production of a unit capacity (mechanical/electrical energy), and, accordingly, the more harmful substances are removed to the atmosphere with exhaust gases. To reduce the negative impact of unproductive fuel consumption during the operation of gas turbine units at elevated ambient temperatures, the inlet air cooling is applied. The paper studies the ecological efficiency of gas turbine unit inlet air cooling, taking into account the variable climatic operation conditions for regions with different climatic conditions over a period of five years (2014-2018): temperate climate of Ukraine (on the example of cities Sumy and Ternopol) and the subtropical climate of the PRC (cities Beijing and Nanjing). The annual reduction in emissions of carbon dioxide CO₂ and nitric oxide NO_x was chosen as indicators for assessing the environmental effect of air cooling. It has been shown that deeper cooling gas turbine unit inlet air to 7...10 °С provides almost a half to two times greater reduction in specific fuel consumption, respectively, and harmful emissions compared with traditional cooling to 15 °С by the most widespread absorption lithium-bromide chillers, and for the temperate climate of Ukraine the relative effect is much greater than for the subtropical climatic conditions of the PRC. Reducing carbon dioxide CO₂ over five years for the PRC climate when cooling air to 10 °С is approximately more than 500 t, and for Ukraine – more than 240 t, and NO_x nitric oxide – about 3.5 t for China and 1.6 t for Ukraine, while with traditional cooling to 15 °С: more than 300 t for China, and for Ukraine about 120 t, and nitric oxide NO_x – about 2 t for China and 0.7 t for Ukraine. Based on the results of a rough assessment of the environmental effect of cooling the ambient air at the inlet of gas turbine units, in the temperate climate of Ukraine, deep cooling of the air is especially advisable, which provides almost twice the effect compared with traditional cooling to 15 °С.

Keywords: ecology; climate; gas turbine unit; cooling; chiller.

Радченко Андрій Миколайович – канд. техн. наук, доц. Національного університету кораблебудування ім. адмірала Макарова, Миколаїв, Україна.

Радченко Микола Іванович – д-р техн. наук, проф., завідувач кафедри кондиціонування і рефрижерації Національного університету кораблебудування ім. адмірала Макарова, Миколаїв, Україна.

Зонмін Ян – доцент, Цзяньсунський університет науки і технології, Цзеньцзянь, КНР.

Кантор Сергій Анатолійович – канд. техн. наук, ПАТ "Завод "Екватор", Миколаїв, Україна.

Портной Богдан Сергійович – аспірант Національного університету кораблебудування ім. адмірала Макарова, Миколаїв, Україна.

Radchenko Andrii Mykolayovych – Candidate of Technical Science, Assistant Professor, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine, e-mail: nirad50@gmail.com, ORCID Author ID: 0000-0002-8735-9205.

Radchenko Mykola Ivanovych – Doctor of Technical Science, Professor, a head Conditioning and Refrigeration Dept., Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine, e-mail: nirad50@gmail.com, ORCID Author ID: 0000-0001-5796-5370.

Zongming Yang – associated Professor, School of Energy and Power, Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang, China.

Kantor Sergiy Anatoliyovych – PhD, PJSC "Zavod "Ekvator", Mykolaiv, Ukraine, e-mail: s_kantor@mail.ru ORCID Author ID: 0000-0001-5050-5937.

Portnoi Bohdan Sergiyovych – Post Graduated Student, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine, e-mail: , ORCID Author ID: 0000-0002-3142-2148.