

Є. І. ТРУШЛЯКОВ¹, А. М. РАДЧЕНКО¹, М. І. РАДЧЕНКО¹, Я. ЗОНМІН²,
А. А. ЗУБАРЄВ¹, В. С. ТКАЧЕНКО¹

¹ Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, Україна

² Цзяньсунський університет науки і технологій, КНР

ХОЛОДОПРОДУКТИВНІСТЬ СИСТЕМИ КОНДИЦІОНУВАННЯ ЗОВНІШНЬОГО ПОВІТРЯ ЗА ПОТОЧНИМ ТЕПЛОВИМ НАВАНТАЖЕННЯМ

Ефективність застосування систем кондиціювання зовнішнього повітря залежить від того, наскільки повно використовуються встановлені холодильні потужності в конкретних кліматичних умовах, тобто за більш повного навантаження і тривалого часу упродовж року. За показник кількісної оцінки ефективності використання холодильної потужності систем кондиціювання повітря взято виробництво холоду – кількість виробленого холоду відповідно до його поточних витрат на кондиціювання повітря, яка в свою чергу залежить від поточних витрат холодопродуктивності та тривалості роботи системи кондиціювання за цих витрат і представляє собою їх добуток. Вочевидь, що максимальна величина поточної кількості виробленого/витраченого холоду свідчить про ефективне використання встановленої холодильної потужності. Однак, оскільки поточні витрати холодопродуктивності та їх тривалість, тобто кількість виробленого/витраченого холоду, залежать від змінних поточних кліматичних умов, то вони теж характеризуються значними коливаннями, що ускладнює вибір встановленої холодопродуктивності системи кондиціювання повітря. Вочевидь, якщо визначати кількість виробленого/витраченого холоду за його поточними величинами і нароціуванням упродовж року, то можна суттєво спростити вибір встановленої холодопродуктивності. При цьому поточна кількість виробленого/витраченого холоду спричиняє зміну темпу прирощення річного виробництва холоду зі зміною встановленої холодопродуктивності і максимальному темпу відповідає встановлена холодопродуктивність, яка забезпечує її ефективне використання. Виходячи з різного темпу прирощення річного виробництва холоду зі збільшенням встановленої холодопродуктивності системи кондиціювання повітря, обумовленого зміною теплового навантаження відповідно до поточних кліматичних умов упродовж року, вибирають таку величину проектного теплового навантаження на систему кондиціювання повітря (встановлену холодопродуктивність), яка забезпечує максимальний або близький до нього темп прирощення річного виробництва холоду, а відтак і максимальну ефективність використання встановленої холодильної потужності.

Ключові слова: кондиціювання повітря; холодопродуктивність; поточна кількість витраченого холоду; річна витрата холоду; кліматичні умови.

1. Аналіз проблеми і постановка мети дослідження

Тепловологісна обробка зовнішнього повітря здійснюється в центральних системах кондиціювання та при їх сумісній роботі з місцевими рециркуляційними системами [1–3]. Ефективність застосування систем кондиціювання повітря (СКП) залежить від того, наскільки повно використовуються встановлені холодильні потужності в конкретних кліматичних умовах, тобто за більш повного навантаження і тривалого часу упродовж року. За показник кількісної оцінки ефективності використання холодильної потужності СКП правомірно взяти виробництво холоду – кількість виробленого холоду відповідно до його поточних витрат на кондиціювання повітря, яка в свою чергу залежить від поточних витрат холодопродуктивності Q_0 та тривалості τ роботи сис-

теми кондиціювання за цих витрат і представляє собою їх добуток. Кількість холоду, виробленого/витраченого за рік: $\sum(Q_0 \cdot \tau)$, кВт·год, де Q_0 – поточна холодопродуктивність (теплове навантаження СКП); τ – тривалість роботи СКП. Основні положення методології вибору встановленої (проектної) холодопродуктивності СКП в умовах нерівномірних теплових навантажень розглянуті в роботах [4].

Вочевидь, що максимальна величина поточної кількості виробленого/витраченого холоду свідчить про ефективне використання встановленої холодильної потужності. Однак, оскільки поточні витрати холодопродуктивності та їх тривалість, тобто кількість холоду, залежать від змінних поточних кліматичних умов, то вони відзначаються значними коливаннями, що ускладнює вибір встановленої холодопродуктивності системи кондиціювання повітря.

Вочевидь, якщо визначати кількість виробле-

ного/витраченого холоду за його поточними величинами і нарощуванням упродовж року, то можна суттєво спростити вибір встановленої холодопродуктивності. При цьому поточна кількість виробленого/витраченого холоду спричиняє зміну темпу прирощення річного виробництва холоду зі зміною встановленої холодопродуктивності і максимальному темпу відповідає встановлена холодопродуктивність, яка забезпечує її ефективне використання.

Мета роботи – розробити підхід до визначення встановленої холодопродуктивності (проектного теплового навантаження) в конкретних кліматичних умовах упродовж року, яка забезпечує максимальне виробництво холоду відповідно до його поточного споживання.

2. Результати дослідження

Для оцінки тривалості використання СКП за різної встановленої питомої холодопродуктивності $q_0 = Q_0/G_n$, що припадає на одиницю витрати повітря $G_n = 1 \text{ кг/с}$, упродовж року були побудовані її залежності від проектної питомої холодопродуктивності q_0 для кліматичних умов України (на прикладі м. Миколаїв) та КНР (м. Пекін), наведені на рис. 1.

Як видно з рис. 1, більшу частину часу (максимальні значення тривалості τ) упродовж року СКП експлуатується при низькій холодопродуктивності q_0 , що пояснюється помірними температурами зовнішнього повітря $t_{зп}$, близькими до температур охолодженого в СКП повітря $t_{н2} = 10, 15$ і 20°C , що не потребує значних витрат холодопродуктивності. Зі зниженням $t_{н2}$ від 20 до 10°C максимальні значення тривалості τ зростають і зміщуються у бік більших значень холодопродуктивності q_0 .

При цьому максимальне виробництво холоду

$q_0 \cdot \tau$ при охолодженні зовнішнього повітря до температур $t_{н2} = 10, 15$ і 20°C має місце в діапазоні значень проектної питомої холодопродуктивності $q_0 = 6 \dots 14 \text{ кДж/кг}$ ($t_{н2} = 20^\circ\text{C}$), $q_0 = 11 \dots 16 \text{ кДж/кг}$ ($t_{н2} = 15^\circ\text{C}$) і $q_0 = 18 \dots 22 \text{ кДж/кг}$ ($t_{н2} = 10^\circ\text{C}$) на рис. 2,а. Для більш теплого клімату (м. Пекін) максимальні величини виробництва холоду $q_0 \cdot \tau$ та відповідні значення проектної питомої холодопродуктивності q_0 суттєво зростають: $q_0 = 26 \dots 38 \text{ кДж/кг}$ при $t_{н2} = 15^\circ\text{C}$ і $q_0 = 35 \dots 41 \text{ кДж/кг}$ при $t_{н2} = 10^\circ\text{C}$ (рис. 2,б).

Відповідні величини питомого виробництва холоду $q_0 \cdot \tau / (q_0 \cdot \tau)_{max}$, віднесені до його максимального значення упродовж року $(q_0 \cdot \tau)_{max}$, наведені на рис. 3.

Як видно з рис. 3, раціональні значення проектної питомої холодопродуктивності q_0 при охолодженні повітря до температури $t_{н2} = 15^\circ\text{C}$ лежать в діапазонах: $11 \dots 15 \text{ кДж/кг}$ (м. Миколаїв) і $31 \dots 33 \text{ кДж/кг}$ (м. Пекін), а при охолодженні повітря до температури $t_{н2} = 10^\circ\text{C}$: $21 \dots 23 \text{ кДж/кг}$ і $36 \dots 42 \text{ кДж/кг}$ відповідно. При цьому поточна кількість виробленого/витраченого холоду $q_0 \cdot \tau$ характеризується значними коливаннями, що ускладнює вибір встановленої холодопродуктивності СКП q_0 .

Якщо визначити кількість виробленого/витраченого холоду за нарощуванням упродовж року (сумуванням його поточних значень): $\Sigma(q_0 \cdot \tau)$, то можна суттєво спростити вибір встановленої холодопродуктивності q_0 . При цьому поточна кількість виробленого/витраченого холоду $q_0 \cdot \tau$ спричиняє зміну темпу прирощення річного виробництва холоду $\Sigma(q_0 \cdot \tau)/q_0$ зі зміною встановленої холодопродуктивності і максимальному темпу $\Sigma(q_0 \cdot \tau)/q_0$ відповідає встановлена холодопродуктивність, яка забезпечує її ефективне використання (рис. 4).

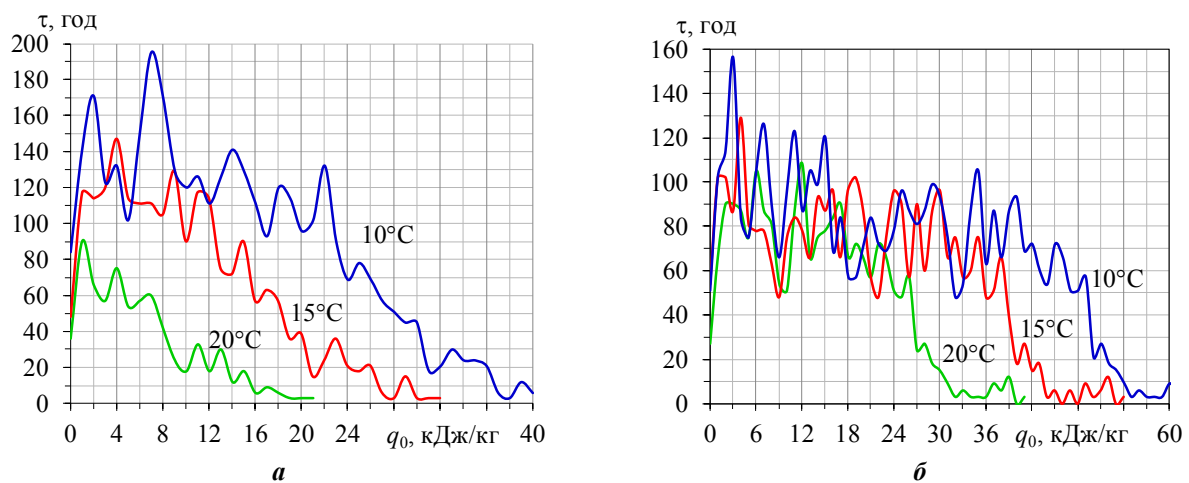


Рис. 1. Тривалість τ кондиціонування повітря при різній питомій холодопродуктивності q_0 і температурах охолодженого повітря $t_{н2} = 10, 15$ і 20°C упродовж 2017 р.: **а** – м. Миколаїв, Україна; **б** – м. Пекін, КНР

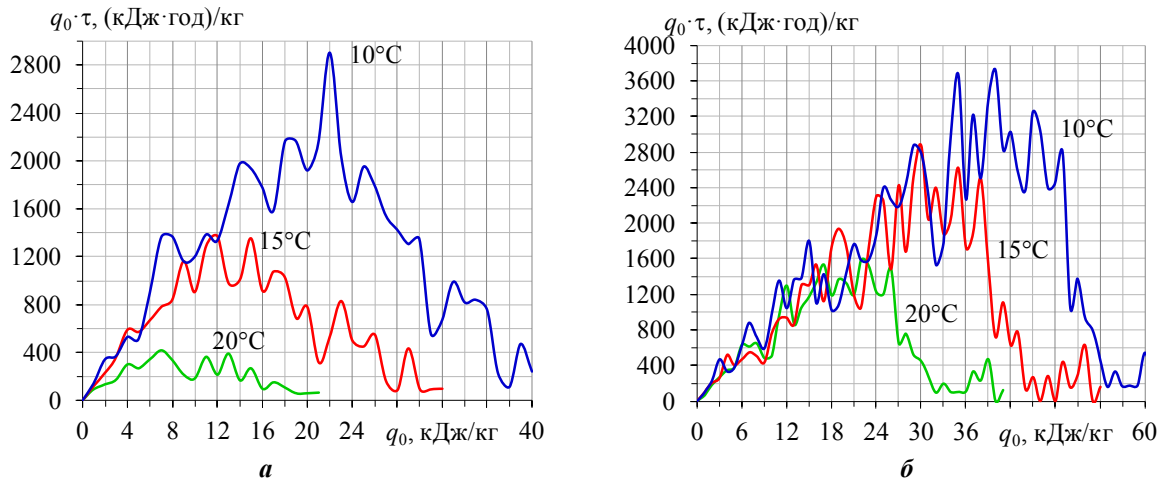


Рис. 2. Питоме виробництво холоду $q_0 \cdot \tau$ для кондиціонування зовнішнього повітря при різних значеннях проектної питомої холодопродуктивності q_0 і температурах охолодженого повітря $t_{n2}=10, 15$ і 20°C упродовж 2017 р.: **а** – м. Миколаїв, Україна; **б** – м. Пекін, КНР

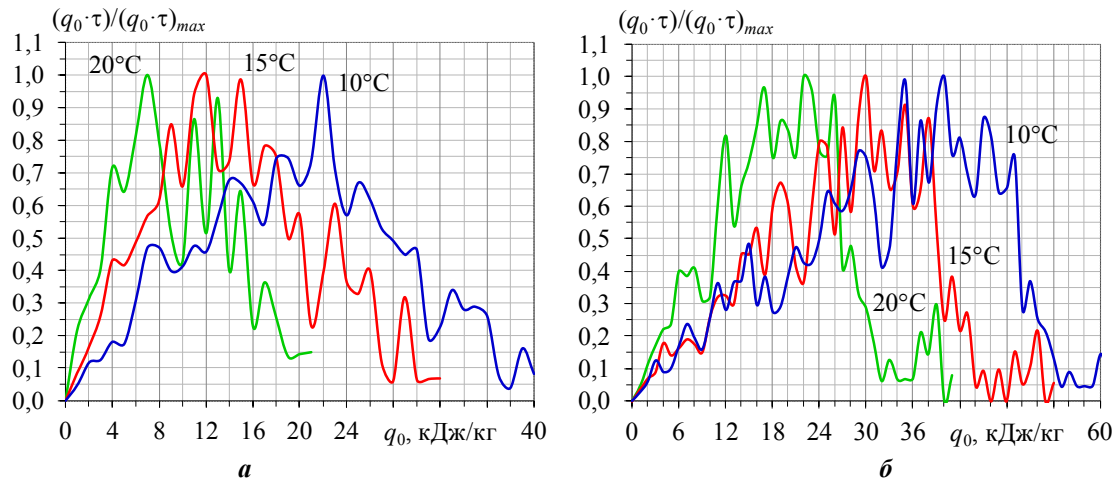


Рис. 3. Питоме виробництво холоду $q_0 \cdot \tau / (q_0 \cdot \tau)_{max}$, віднесене до його максимального значення упродовж року $(q_0 \cdot \tau)_{max}$, при різних значеннях проектної питомої холодопродуктивності q_0 і температурах охолодженого повітря $t_{n2}=10, 15$ і 20°C упродовж 2017 р.: **а** – м. Миколаїв, Україна; **б** – м. Пекін, КНР

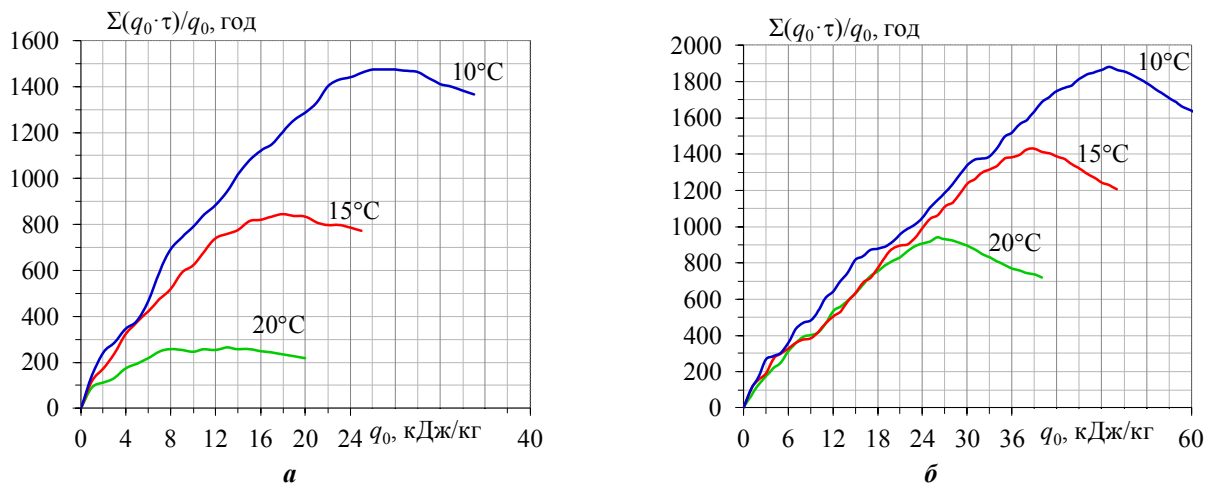


Рис. 4. Залежність річного питомого виробництва холоду $\Sigma(q_0 \cdot \tau) / q_0$, віднесеного до встановленої питомої холодопродуктивності q_0 , від встановленої питомої холодопродуктивності q_0 при температурах охолодженого повітря $t_{n2}=10, 15$ і 20°C упродовж 2017 р.: **а** – м. Миколаїв, Україна; **б** – м. Пекін, КНР

З рис. 4 видно, що значення проектної питомої холодопродуктивності q_0 при охолодженні повітря до температури $t_{п2} = 15^\circ\text{C}$ становлять: близько 18 кДж/кг (м. Миколаїв) і 38 кДж/кг (м. Пекін), а при $t_{п2} = 10^\circ\text{C}$: близько 26 кДж/кг та 41 кДж/кг відповідно.

Висновки

Досліджено ефективність використання встановленої холодопродуктивності СКП для різних кліматичних умов (України на прикладі м. Миколаїв та КНР, м. Пекін), як показник запропоновано застосовувати кількість виробленого холоду відповідно до його витрати на охолодження повітря.

Поточна кількість виробленого холоду характеризується значними коливаннями, що ускладнює вибір встановленої холодопродуктивності СКП. Запропоновано кількість виробленого холоду визначати за нарощуванням упродовж року (сумуванням його поточних значень), що дає можливість вибрати встановлену холодопродуктивність СКП, яка забезпечує її ефективне використання з максимальним темпом приросту річного виробництва холоду.

Література

1. Obara, S. *Distributed energy systems [Text] / S. Obara.* – GA, USA: Nova Science Publishers Inc., 2009. – 68 p.
2. *Modeling simple trigeneration systems for the distribution of environmental loads [Text] / M. Carvalho, M. A. Lozano, L. M. Serra, V. Wohlgemuth // Environmental Modelling & Software.* – 2012. – № 30. – P. 71–80.
3. *Энергоэффективные режимы совместного функционирования центральной системы кондиционирования и местной рециркуляционной системы охлаждения [Текст] / Н. В. Коченков, В. Н. Коченков, Я. А. Шакиров, А. П. Александрова // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Холодильная техника и кондиционирование».* – 2016. – № 4 (16). – С. 43–46.

4. *Ефективність охолодження повітря на вході газотурбінної установки в умовах помірного і субтропічного клімату [Текст] / А. М. Радченко, Я. Зонмін, С. А. Кантор, Б. С. Портной // Авиационно-космическая техника и технология.* – 2018. – № 6(150). – С. 34–38.

References

1. Obara, S. *Distributed energy systems.* GA, USA, Nova Science Publishers Inc., 2009. 68 p.
2. Carvalho, M., Lozano, M. A., Serra, L. M., Wohlgemuth, V., *Modeling simple trigeneration systems for the distribution of environmental loads. Environmental Modelling & Software*, 2012, no. 30, pp. 71–80.
3. Kochenkov, N. V., Kochenkov, V. N., Shakirov, Ya. A., Aleksandrova, A. P. *Energoeffektivnye rezhymy sovmestnogo funkcionirovaniya centralnoi sistemy kondicionirovaniya i mestnoi recirkulyacionnoi sistemy okhlazhdeniya [Energy efficiency modes of confunction of central air conditioning system and local recirculation cooling system]. Nauchnyi Zhurnal NIU ITMO – Scientific Journal of SRU IHMT*, 2016, no. 4 (16), pp. 43–46.
4. Radchenko, A. N., Zongming, Y., Kantor, S. A., Portnoi, B. S. *Efektivnist' okholodzhennya povitrya na vkhodi hazoturbinnoyi ustanovky v umovakh pomirnoho i subtropichnoho klimatu [The efficiency of air cooling at the inlet of gas turbine unit under conditions of moderate and subtropical climate]. Aviacijno-kosmicna tehnika i tehnologia - Aerospace technic and technology*, 2018, no. 6 (150), pp. 34–38.

Поступила в редакцію 12.01.2019, рассмотрена на редколлегии 15.04.2019

ХОЛОДОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ СИСТЕМЫ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА ПО ТЕКУЩЕЙ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКЕ

Е. И. Трушляков, А. Н. Радченко, Н. И. Радченко, Я. Зонмин, А. А. Зубарев, В. С. Ткаченко

Эффективность применения систем кондиционирования наружного воздуха зависит от того, насколько полно используются установленные холодильные мощности, то есть при более полной нагрузке и в течение как можно более длительного времени в течение года, в конкретных климатических условиях. В качестве показателя количественной оценки эффективности использования холодильной мощности систем кондиционирования воздуха взято производство холода – количество произведенного холода в соответствии с его текущим расходом на кондиционирование воздуха, которое в свою очередь зависит от текущих затрат холодопроизводительности и продолжительности работы системы кондиционирования при этих затратах и представляет собой их произведение. Очевидно, что максимальная величина текущего количества производимого/затраченного холода свидетельствует об эффективном использовании установленной холодильной мощности. Однако, поскольку текущие затраты холодопроизводительности и их продолжительность, то есть количество производимого/затраченного холода, зависят от меняющихся текущих климатических условий, то они характеризуются значительными колебаниями, что затрудняет выбор установленной холодопроизводительности системы кондиционирования воздуха. Очевидно, если определять количество производимого/затраченного холода по его текущим величинам и наращиванию в течение года, то можно существенно упростить выбор установленной холодопроизводительности. При этом текущее количество производимого/затраченного холода вызывает изменение темпа приращения годового производства холода с изменением установленной холодопроизводительности, и максимальному темпу

соответствует установленная холодопроизводительность, которая обеспечивает ее эффективное использование. Исходя из разного темпа приращение годового производства холода с увеличением установленной холодопроизводительности системы кондиционирования воздуха, обусловленного изменением тепловой нагрузки в соответствии с текущими климатическими условиями в течение года, выбирают такую величину проектного тепловой нагрузки на систему кондиционирования воздуха (установленную холодопроизводительность), которая обеспечивает максимальный или близкий к нему темп приращение годового производства холода, а значит и максимальную эффективность использования установленной холодильной мощности.

Ключевые слова: кондиционирование воздуха; холодопроизводительность; текущие затраты холода; годовые затраты холода; климатические условия.

COOLING CAPACITY OF AIR CONDITIONING SYSTEM ACCORDING TO CURRENT HEAT LOAD

E. I. Trushliakov, A. M. Radchenko, M. I. Radchenko, Y. Zongming, A. A. Zubarev, V. S. Tkachenko

The efficiency of the outdoor air conditioning systems application depends on how full the installed cooling capacity is applied, that is, with a more complete load and for as long as the possible yearly duration in actual climatic conditions. The production of cold is taken as a criteria of a quantitative evaluation of the efficiency of applying the cooling capacity of air conditioning systems – the amount of cold produced in accordance with its current demand for air conditioning, which in turn depends on the current consumption of cooling capacity and its duration and equals to their multiplication. It is obvious that the maximum value of the current amount of cold produced/consumed indicates an effective application of the installed cooling capacity. However, since the current demands of cooling capacity and their duration, that is, the amount of cold produced/consumed, depending on the changing current climatic conditions, they are characterized by significant fluctuations, which makes it difficult to choose the installed cooling capacity of the air conditioning system. Obviously, if we determine the amount of cold produced/consumed by its current values and summarized during the year, it is possible to significantly simplify the choice of the installed cooling capacity. At the same time, the current amount of cold produced/consumed causes a change in the rate of increment of the annual cold production with a change in the installed cooling capacity, and the maximum rate corresponds to the installed cooling capacity, which provides its efficient use. Proceeding from a different rate of increment of annual cold production with an increase in the installed cooling capacity of the air conditioning system due to a change in heat load in accordance with current climatic conditions during the year, the value of design heat load on the air conditioning system (installed cooling capacity) that provides maximum or close to it the rate of increment of the annual production of cold, and hence the maximum efficient use of installed cooling capacity is chosen.

Keywords: air conditioning; cooling capacity; current cold demand; annual cold production; climatic conditions.

Трушляков Євген Іванович – канд. техн. наук, проф. Національного університету кораблебудування ім. адмірала Макарова, Миколаїв, Україна.

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 технологій, Цзеньцзянь, КНР.

Зубарев Анатолій Анатолійович – ст. викладач кафедри кондиціонування і рефрижерації, Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова, Миколаїв, Україна.

Ткаченко Веніамін Сергійович – аспірант Національного університету кораблебудування ім. адмірала Макарова, Миколаїв, Україна.

Trushliakov Eugeniy Ivanovych – Candidate of Technical Science, Professor of Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine, e-mail: eugeniyt@gmail.com.

Radchenko Andrii Mykolaiovych – Candidate of Technical Science, Assistant Professor of Dept. of Ship Electroenergetic Systems, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine, e-mail: nirad50@gmail.com.

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.

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

Zubarev Anatolii Anatoliyovych – senior lecturer of the Conditioning and Refrigeration Department, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine, e-mail: nirad50@gmail.com.

Tkachenko Veniamin Sergiyovych – PhD Student, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine, e-mail: btd@zavod-ekvator.com.