

УДК 621.57.011:551.582

doi: 10.32620/aktt.2019.6.03

Є. І. ТРУШЛЯКОВ<sup>1</sup>, А. М. РАДЧЕНКО<sup>1</sup>, С. А. КАНТОР<sup>2</sup>, В. С. ТКАЧЕНКО<sup>2</sup>,  
С. Г. ФОРДУЙ<sup>3</sup>, Я. ЗОНМІН<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, Україна

<sup>2</sup> ПАТ "Завод "Екватор", Україна

<sup>3</sup> PepsiCo, Inc., CTS ESSA, Київ, Україна

<sup>4</sup> Цзяньсунський університет науки і технологій, м. Чженьцзян, КНР

## ВИЗНАЧЕННЯ ПРОЕКТНОЇ ХОЛОДОПРОДУКТИВНОСТІ СИСТЕМИ КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ В КОНКРЕТНИХ КЛІМАТИЧНИХ УМОВАХ І РІЗНИМИ МЕТОДАМИ

Витрати холоду на тепловолігисну обробку зовнішнього повітря в системах кондиціювання залежать від його параметрів (температури та відносної вологості), які суттєво змінюються на протязі експлуатації. Для визначення встановленої (проектної) холодопродуктивності холодильних машин системи кондиціювання повітря запропоновано використовувати скорочення споживання палива енергетичною установкою або вироблення холоду відповідно до його поточних витрат на кондиціювання за певний проміжок часу, оскільки обидва ці показники характеризують ефективність використання встановлених холодильних потужностей системи кондиціювання. З метою поширення результатів дослідження на широкий спектр установок кондиціювання використано два методи визначення проектної холодопродуктивності (холодильної потужності): за максимальним річним значенням та за максимальним темпом приросту показника ефективності. Перший метод дозволяє обрати проектну холодопродуктивність, яка забезпечує максимальну річну економію палива за рахунок охолодження повітря або максимальне виробництво холоду, яке необхідне для охолодження повітря відповідно до поточних кліматичних умов. Другий метод дозволяє визначати мінімальну проектну (встановлену) холодопродуктивність холодильних машин, яка забезпечує максимальний темп скорочення споживання палива енергетичною установкою та приросту річного виробництва холоду відповідно до встановленої холодильної потужності холодильних машин. Ефективність роботи систем кондиціювання повітря проаналізовано для різних кліматичних умов: помірного клімату на прикладі м. Вознесенськ (Україна) та субтропічного клімату м. Нанкін (КНР). Показано, що значення проектної холодопродуктивності, розраховані за обома показниками ефективності її використання однакові для одних і тих же кліматичних умов. При цьому, якщо визначати проектну холодопродуктивність за двома методами – за максимальним річним значенням та за максимальним темпом приросту показника, її значення виявилися доволі близькими для тропічних кліматичних умов та дещо відмінними для помірного клімату.

**Ключові слова:** кондиціювання; холодопродуктивність; клімат; споживання палива; вироблення холоду.

### 1. Аналіз проблеми і постановка мети дослідження

Витрати холоду в системах кондиціювання повітря (СКП) залежать від поточних температури  $t_{зп}$  та відносної вологості  $\varphi_{зп}$  зовнішнього повітря [1, 2]. З метою узагальнення і поширення результатів на установки різної продуктивності (витрати повітря  $G_p$  в повітроохолоджувачі (ПО)) їх характеристики доцільно представляти як питомі – віднесені до витрати повітря  $G_p$  в ПО. Тоді ефективність використання встановленої холодильної потужності (проектної холодопродуктивності) можна оцінювати за питомим (при  $G_p = 1$  кг/с) річним виробництвом холоду відповідно до його поточних витрат на кон-

диціювання повітря:  $\Sigma q_0 \cdot \tau = \Sigma(Q_0 \cdot \tau) / G_p$ , кДж·год/кг, де  $\Sigma(Q_0 \cdot \tau)$  – повне річне виробництво холоду, кВт·год;  $Q_0$  – холодопродуктивність, кВт;  $q_0$  – питома холодопродуктивність,  $q_0 = Q_0 / G_p$ , кДж/кг;  $\tau$  – період, год [3, 4], а у разі охолодження повітря на вході енергоустановки – за питомим річним скороченням споживання палива енергоустановкою в результаті охолодження повітря на її вході:  $\Sigma b_e = \Sigma B_e / N_e$ , що припадає на 1 кВт її потужності.

Оскільки як скорочення споживання палива (при охолодженні повітря на вході енергоустановки), так і річне виробництво холоду (для СКП) характеризують ефективність використання встановленої холодильної потужності, то доцільно порівнювати результати її визначення за обома показниками.

**Мета дослідження** – проаналізувати визначення проектної холодопродуктивності (встановленої холодильної потужності) за різними показниками для різних кліматичних умов.

## 2. Результати дослідження

Як приклад, на рис. 1 представлено зміну температури  $t_{\text{зп}}$ , відносної вологості  $\varphi_{\text{зп}}$  та вологовмісту  $d_{\text{зп}}$  зовнішнього повітря упродовж 2017 року для

м. Вознесеньск, Україна (помірний клімат), та м. Нанкін, КНР (субтропічний клімат).

Про характер зміни питомого скорочення споживання палива  $\Sigma b_e$  та питомого річного виробництва холоду  $\Sigma(q_0 \cdot \tau)$  в залежності від проектної питомої холодопродуктивності  $q_0 = Q_0 / G_{\text{п}}$ , кДж/кг, встановленої холодильної машини (ХМ) при охолодженні повітря до температур  $t_{\text{п2}} = 10, 15, 17$  і  $20^\circ\text{C}$  для кліматичних умов України та КНР за 2017 рік можна судити по рис. 2.

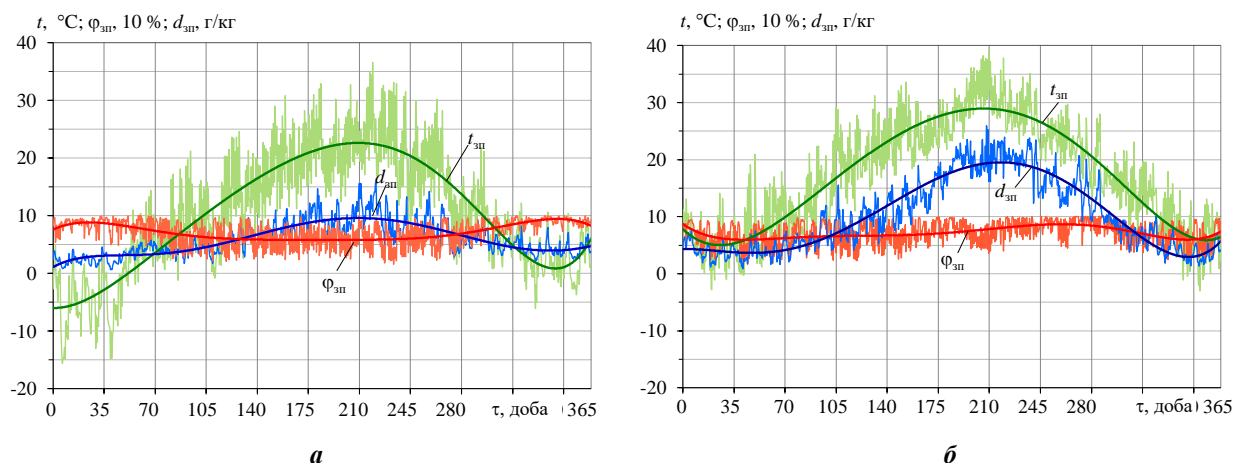


Рис. 1. Поточні значення температури  $t_{\text{зп}}$ , відносної вологості  $\varphi_{\text{зп}}$  та вологовмісту  $d_{\text{зп}}$  зовнішнього повітря у 2017 році: **а** – м. Вознесеньск, Миколаївська обл., Україна; **б** – м. Нанкін, КНР

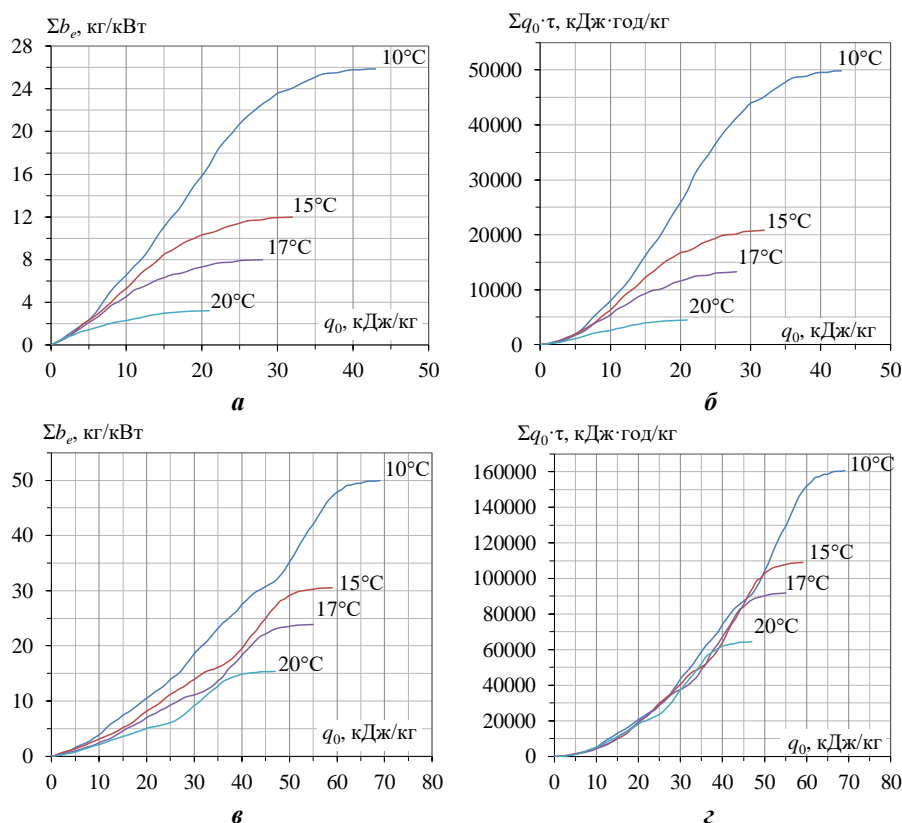


Рис. 2. Значення питомого скорочення споживання палива  $\Sigma b_e$  (**а, в**) та питомого річного виробництва холоду  $\Sigma(q_0 \cdot \tau)$  (**б, г**), в залежності від проектної питомої холодопродуктивності ХМ СКП  $q_0$  за 2017 рік для м. Вознесеньск, Миколаївська обл., Україна (**а, б**) та м. Нанкін, КНР (**в, г**)

Як можна бачити з розрахунків на рис. 2, через падіння темпу приросту питомого скорочення споживання палива  $\Sigma b_e$  та питомого виробництва холоду  $\Sigma(q_0 \cdot \tau)$  після певної проектної питомої холодопродуктивності  $q_0$  подальше її підвищення не призводить до помітного збільшення річного виробництва холоду. Значне уповільнення приросту ефекту за обома показниками має місце при одній і тій же величині проектної питомої холодопродуктивності  $q_0$ , яку правомірно вважати за раціональну. Подібний характер зміни показників річного ефекту  $\Sigma b_e$  та  $\Sigma(q_0 \cdot \tau)$  є типовим для різного клімату.

Також доцільно проаналізувати результати визначення мінімальної проектної (встановленої) холодопродуктивності, яка забезпечує максимальний темп приросту показників ефективності використання ХМ СКП.

Значення річного питомого скорочення споживання палива  $\Sigma b_e/q_0$  та річного виробництва холоду  $\Sigma(q_0 \cdot \tau)/q_0$ , віднесених до встановленої (проектної) питомої холодильної потужності  $q_0$ , дозволяють визначити мінімальну проектну (встановлену) холодопродуктивність, що забезпечує максимальний темп скорочення споживання палива та приросту річного виробництва холоду відповідно до збільшення встановленої холодильної потужності ХМ (рис. 3).

Як видно з рис. 3, в умовах помірного клімату України максимальний темп питомого скорочення споживання палива  $\Sigma b_e/q_0$  та приросту річного виробництва холоду  $\Sigma(q_0 \cdot \tau)/q_0$  досягається при дещо різних проектних питомих холодопродуктивностях  $q_0$ , проте для субтропічного клімату КНР значення проектної питомої холодопродуктивності  $q_0$  практично однакові при оцінці ефекту за різними показниками  $\Sigma b_e/q_0$  та  $\Sigma(q_0 \cdot \tau)/q_0$ .

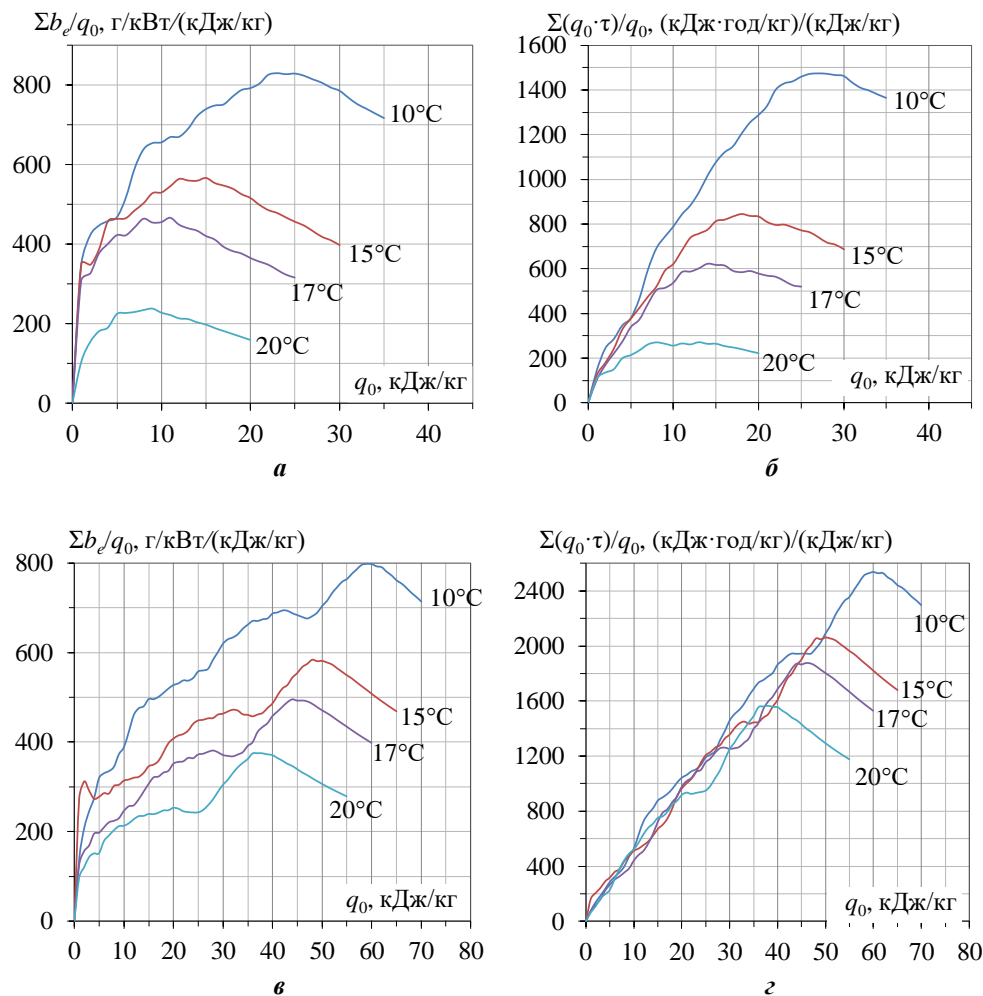


Рис. 3. Значення питомого скорочення споживання палива  $\Sigma b_e/q_0$ , віднесеного до питомої холодильної потужності ХМ СКП  $q_0$  (а, в) та річного виробництва холоду  $\Sigma(q_0 \cdot \tau)/q_0$ , віднесеного до питомої холодильної потужності ХМ СКП  $q_0$  (б, г), в залежності від проектної питомої холодопродуктивності ХМ СКП  $q_0$  за 2017 рік для м. Вознесеньск, Миколаївська обл., Україна (а, б) та м. Нанкін, КНР (в, г)

## Висновки

Проаналізовано результати визначення проектної холодопродуктивності систем кондиціонування повітря за річними скороченням споживання палива і виробництвом холоду для помірних кліматичних умов (на прикладі м. Вознесенськ, Україна) та субтропічних умов (м. Нанкін, КНР). Показано, що значення проектної холодопродуктивності, отримані за двома методами, практично однакові.

## Література

1. *Thermodynamic analysis of trigeneration systems taking into account refrigeration, heating and electricity load demands [Text] / R. P. Marques, D. Hacon, A. Tessarollo, J. A. R. Parise // Energy and Buildings. – 2010. – Vol. 42. – P. 2323-2330.*
2. *Ortiga, J. Operational optimisation of a complex trigeneration system connected to a district heating and cooling network [Text] / J. Ortiga, B. J. Carles, A. Coronas // Applied Thermal Engineering. – 2013. – Vol. 50. – P. 1536-1542.*
3. *Statistical approach to improve the efficiency of air conditioning system performance in changeable climatic conditions [Text] / E. Trushliakov, M. Radchenko, A. Radchenko, S. Kantor, Y. Zongming // The 5th "International Conference on Systems and Informatics: ICSAI 2018", Jiangsu, Nanjing, China. – 2018. – P. 1303-1307.*
4. *Methodological approach to improve the efficiency of air conditioning system performance in*

*changeable climatic conditions [Text] / E. Trushliakov, M. Radchenko, S. Kantor // Proceedings of the X Minsk International Seminar "Heat Pipes, Heat Pumps, Refrigerators, Power Sources", Minsk, Belarus, 10-13 September, 2018. – P. 444-450.*

## References

1. Marques, R. P., Hacon, D., Tessarollo, A., Parise, J. A. R. Thermodynamic analysis of trigeneration systems taking into account refrigeration, heating and electricity load demands. *Energy and Buildings*, 2010, vol. 42, pp. 2323-2330.
2. Ortiga, J., Bruno, J. C., Coronas, A. Operational optimisation of a complex trigeneration system connected to a district heating and cooling network. *Applied Thermal Engineering*, 2013, vol. 50, pp. 1536-1542.
3. Trushliakov, E., Radchenko, M., Radchenko, A., Kantor, S., Zongming, Y. Statistical approach to improve the efficiency of air conditioning system performance in changeable climatic conditions. *The 5th "International Conference on Systems and Informatics: ICSAI 2018"*, Jiangsu, Nanjing, China, 2018, pp. 1303-1307.
4. Trushliakov, E., Radchenko, M., Kantor, S. Methodological approach to improve the efficiency of air conditioning system performance in changeable climatic conditions. *Proceedings of the X Minsk International Seminar "Heat Pipes, Heat Pumps, Refrigerators, Power Sources"*, Minsk, Belarus, 10-13 September, 2018, pp. 444-450.

Поступила в редакцию 1.11.2019, рассмотрена на редколлегии 10.12.2019

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЕКТНОЙ ХОЛОДОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СИСТЕМЫ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА В КОНКРЕТНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ И РАЗНЫМИ МЕТОДАМИ

**Е. И. Трушляков, А. Н. Радченко, С. А. Кантор, В. С. Ткаченко, С. Г. Фордуй, Я. Зонмин**

Затраты холода на тепловлажностную обработку наружного воздуха в системах кондиционирования зависят от его параметров (температуры и относительной влажности), которые существенно меняются в течении эксплуатации. Для определения установленной (проектной) холодопроизводительности холодильных машин системы кондиционирования воздуха, предложено использовать сокращение потребления топлива энергетической установкой либо выработку холода в соответствии с его текущими затратами на кондиционирование за определённый промежуток времени, поскольку оба этих показателя характеризуют эффективность использования установленных холодильных мощностей системы кондиционирования. С целью распространения результатов исследования на широкий спектр установок кондиционирования, использовано два метода определения проектной холодопроизводительности (холодильной мощности): по максимальному годовому значению и по максимальному темпу прироста показателя эффективности. Первый метод позволяет выбрать проектную холодопроизводительность, которая обеспечивает максимальную годовую экономию топлива за счёт охлаждения воздуха или максимальную выработку холода, которая необходима для охлаждения воздуха в соответствии с текущими климатическими условиями. Второй метод позволяет определить минимальную проектную (установленную) холодопроизводительность холодильных машин, которая обеспечивает максимальный темп сокращения потребления топлива энергетической установкой и приращение годовой выработки холода в соответствии с установленной холодильной мощностью холодильных машин. Эффективность работы систем кондиционирования воздуха проанализирована для разных климатических условий: умеренного климата на примере г. Вознесенск (Украина) и субтропического климата г. Нанкин (КНР). Показано, что значения

проектной холодопроизводительности, рассчитанные по обоим показателям эффективности её использования одинаковы для одних у тех же климатических условий. При этом, если определять проектную холодопроизводительность по обоим методам – по максимальному годовому значению и по максимальному темпу приращения показателя, её значения оказались довольно близкими для тропических климатических условий и несколько различными для умеренного климата.

**Ключевые слова:** кондиционирование; холодопроизводительность; климат; потребление топлива; выработка холода.

## DETERMINE OF PROJECT COOLING CAPACITY OF THE AIR CONDITIONING SYSTEM IN ACTUAL CLIMATE CONDITIONS AND BY DIFFERENT METHODS

*E. I. Trushliakov, A. M. Radchenko, S. A. Kantor, V. S. Tkachenko, S. G. Forduy, Y. Zongming*

The cold output for the heat-moisture treatment of ambient air in air conditioning systems depends on its parameters (temperature and relative humidity), which vary significantly during operation. To determine the installed (design) cooling capacity of air conditioning system chillers, it is proposed to use a reduction in fuel consumption of a power plant or cooling capacity generation following its current conditioning spending over a certain period, since both of these indicators characterize the efficiency of using the installed cooling capacities of the air conditioning system. To extend the results of the investigation to a wide range of air conditioning units, two methods were used to determine the design cooling capacity (refrigerating capacity): by the maximum annual value and by the maximum growth rate of the efficiency indicator. The first method allows choosing the design cooling capacity, which provides a maximum annual reduction in the specific fuel consumption due to air cooling or maximum cooling capacity generation, which is necessary for air cooling following current climatic conditions. The second method allows determining the minimum design (installed) cooling capacity of chillers, which provides the maximum rate of reduction in fuel consumption by the power plant and the increment in the annual cooling capacity generation following the installed cooling capacity of chillers. The efficiency of air conditioning systems was analyzed for different climatic conditions: a temperate climate using the example of Voznesensk city (Ukraine) and the subtropical climate of Nanjing city (China). It is shown that the design cooling capacity values calculated by both indicators of its use efficiency are the same for the same climatic conditions. Wherein, if to determine the design cooling capacity by both methods - by the maximum annual value and the maximum rate of growth of the indicator, its values turned out to be quite close for tropical climatic conditions and somewhat different for a temperate climate.

**Keywords:** air conditioning; cooling capacity; climate; fuel consumption; cooling capacity generation.

**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.

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

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

**Фордуй Сергій Георгійович** – канд. техн. наук, PepsiCo, Inc., Київ, Україна.

**Зонмін Ян** – доцент, Цзяньсунський університет науки і технології, Чженьцзян, КНР

**Trushliakov Eugeniy Ivanovych** – Candidate of Technical Science, Professor of Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine,  
e-mail: eugeniyt@gmail.com, ORCID Author ID: 0000-0001-6171-5438.

**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.

**Kantor Serhiy Anatoliyovych** – PhD, PJSC "Zavod "Ekvator", Mykolaiv, Ukraine,  
e-mail: s\_kantor@mail.ru, ORCID Author ID: 0000-0001-5050-5937.

**Tkachenko Veniamin Sergiyovych** – PhD Student, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine,  
e-mail: btd@zavod-ekvator.com, ORCID Author ID: 0000-0003-0790-8698.

**Forduy Serhiy Georgiyovych** – Candidate of Technical Science, PepsiCo, Inc., Kyiv, Ukraine,  
e-mail: serhiy.forduy@pepsico.com, ORCID Author ID: 0000-0003-0110-4090.

**Zongming Yang** – associated Professor, Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang, China,  
e-mail: nirad50@gmail.com.