

Секція 5.

Холод на транспорті, в енергетиці, та агропромисловому комплексі

УДК 621.438.13:621.57

АНАЛІЗ ЕКОЛОГІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ КОНДИЦІЮВАННЯ ПОВІТРЯ КОМБІНОВАНОГО ТИПУ

Трушляков Є.І., к.т.н., професор НУК¹, Радченко А.М., к.т.н., доцент¹, Фордуй С.Г.², Зубарев А.А.¹, Кантор С.А.³, к.т.н., Ткаченко В.С.¹

¹ Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова; ² PepsiCo, Inc., CTS ESSA; ³ ПАТ "Завод "Екватор"

^{1, 3} Україна, Миколаїв; ² Україна, Київ

¹ nirad50@gmail.com, ² serhiy.forduy@pepsico.com, ³ s_kantor@mail.ru

Анотація. В роботі досліджено екологічну ефективність кондиціювання повітря в кліматичних умовах м. Київ. Показниками оцінки екологічного ефекту обрані сумарні по накопиченню річні скорочення викидів двооксиду вуглецю CO₂ та оксиду азоту NO_x. Показано, що при використанні методу забезпечення максимального темпу приросту виробництва холоду спостерігається найбільше скорочення шкідливих викидів.

Ключові слова: кондиціювання повітря, холодопродуктивність, екологія, клімат.

Аналіз проблеми і постановка мети дослідження

Енерговитрати на тепловологісну обробку зовнішнього повітря в системах кондиціювання припливного повітря (СКПП) залежать від його тепловологісних параметрів (температури $t_{\text{нв}}$ та відносної вологості $\phi_{\text{нв}}$ навколишнього повітря), які відрізняються значними змінами упродовж доби [1–2].

Основні положення методології вибору встановленої (проектної) холодопродуктивності холодильних машин (ХМ) СКПП в умовах нерівномірних теплових навантажень розглянуті в роботі [3].

Про ефективність використання встановленої (проектної) холодопродуктивності ХМ СКПП можна судити за співвідношення витраченого холоду за певний проміжок часу (при роботі ХМ на змінних режимах теплового навантаження в залежності від поточних кліматичних умов) і потенційно можливого його вироблення при реалізації всієї встановленої холодопродуктивності (при роботі ХМ на повному, номінальному, навантаженні).

Оскільки кількість витраченого холоду на тепловологісну обробку припливного повітря в СКПП залежить від поточних температури $t_{\text{нв}}$ і відносної вологості $\phi_{\text{нв}}$, глибини його охолодження, а також від тривалості τ роботи СКПП, то про екологічну ефективність використання холодопродуктивності холодильної машини СКПП можна робити висновки оцінюючи екологічний ефект від скорочення споживання палива ГПД, який забезпечує роботу компресора холодильної машини.

Метою роботи є оцінка і порівняння екологічної ефективності від роботи СКПП при різних підходах до визначення встановленої холодопродуктивності холодильної машини, робота якої забезпечується виробленням електроенергії ГПД, для кліматичних умов України на прикладі м. Київ.

Результати дослідження

З метою узагальнення і поширення результатів на СКПП різної продуктивності – витрати повітря в повітроохолоджувачі (ПО) – доцільно представляти їх характеристики як питомі, тобто у відносних величинах, віднесених до витрати повітря $G_{\text{п}}$ в ПО.

Питоме річне виробництво холоду – витрати холодопродуктивності на кондиціювання повітря одиночної витрати ($G_{\text{п}} = 1 \text{ кг/с}$) $\Sigma q_0 \cdot \tau = \Sigma(Q_0 \cdot \tau) / G_{\text{п}}$, кДж·год/кг, де $\Sigma(Q_0 \cdot \tau)$ – повне річне виробництво холоду, кВт·год; Q_0 – холодопродуктивність, кВт; τ – період, год.

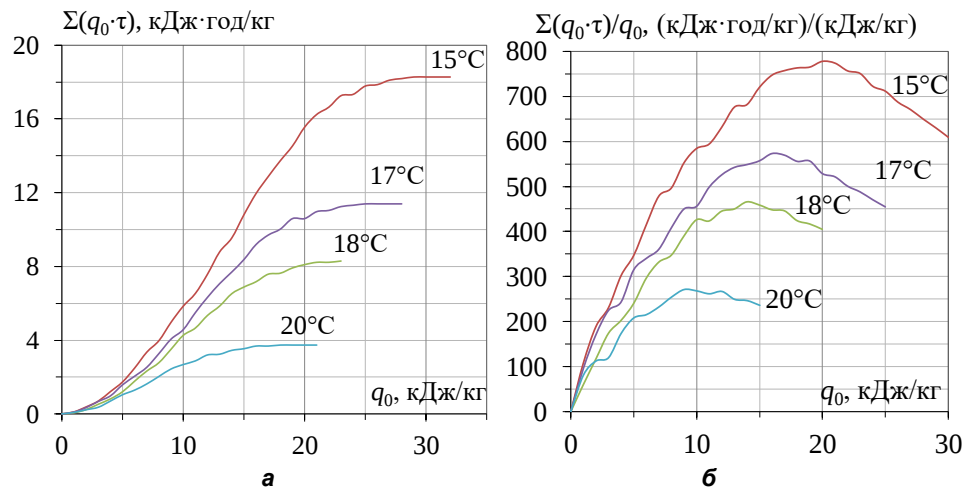


Рис. 1. Значення питомого (при $G_n = 1$ кг/с) річного виробництва холоду $\Sigma(q_0 \cdot \tau)$ (а) та річного виробництва холоду $\Sigma(q_0 \cdot \tau)/q_0$ (б), віднесеного до питомої холодильної потужності ХМ СКП q_0 , в залежності від проектної питомої холодопродуктивності q_0

Про характер зміни питомого річного виробництва холоду $\Sigma(q_0 \cdot \tau)$ та річного виробництва холоду $\Sigma(q_0 \cdot \tau)/q_0$, віднесеного до встановленої питомої холодопродуктивності (холодильної потужності ХМ) q_0 , в залежності від проектної питомої холодопродуктивності $q_0 = Q_0 / G_n$, кДж/кг, встановленої холодильної машини для температури охолодженого повітря $t_{n2} = 15, 17, 18$ та 20°C та кліматичних умов м. Київ, 2017 рік, можна судити по рис. 1.

Як видно з рис. 1, питоме річне виробництво холоду $\Sigma(q_0 \cdot \tau)_{15}$ на охолодження повітря до $t_{n2} = 15^\circ\text{C}$ при проектній питомій холодопродуктивності $q_{0.15} = 25$ кДж/кг, досягається з доволі високим темпом її приросту.

Через падіння темпу приросту $\Sigma(q_0 \cdot \tau)$ подальше збільшення проектної питомої холодопродуктивності q_0 не призводить до помітного збільшення річного виробництва холоду.

Значення річного виробництва холоду $\Sigma(q_0 \cdot \tau)/q_0$, віднесеного до встановленої питомої холодильної потужності q_0 дозволяє визначити мінімальну проектну (встановлену) холодопродуктивність, що забезпечує максимальний темп приросту річного виробництва холоду відповідно до збільшення встановленої холодильної потужності ХМ.

Максимальний темп приросту річного виробництва холоду у вигляді співвідношення $\Sigma(q_0 \cdot \tau)/q_0$ при охолодженні повітря до $t_{n2} = 15^\circ\text{C}$ досягається при проектній питомій холодопродуктивності $q_{0.опт} = 20$ кДж/кг (оптимальне значення $q_{0.опт}$), що значно менше, ніж раціональна $q_{0.15рац} = 25$ кДж/кг, що складає близько 20%. Аналогічні співвідношення спостерігаються і для інших температур охолодженого повітря.

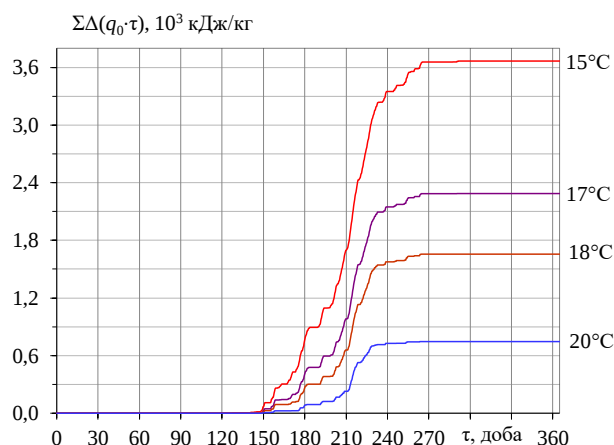


Рис. 2. Зменшення вироблення холоду $\Sigma\Delta(q_0 \cdot \tau)$ за накопиченням упродовж року при охолодженні повітря до $15, 17, 18$ і 20°C за 2017 р., м. Київ.

Очевидно, що за меншої встановленої питомої холодильної потужності максимальне значення річного виробництва холоду може бути досягнуто за рахунок використання надлишку холоду, накопичуваного при зменшених поточних теплових навантаженнях, для покриття підвищених потреб охолодження.

Про характер зменшення потреб річного питомого виробництва холоду $\Sigma\Delta(q_0 \cdot \tau)$ в результаті застосування холодильної машини меншої встановленої холодопродуктивності впродовж року в залежності від температури охолодженого повітря $t_{n2} = 15, 17, 18$ і 20°C за 2017 р., для кліматичних умов м. Київ можна судити з рис. 2.

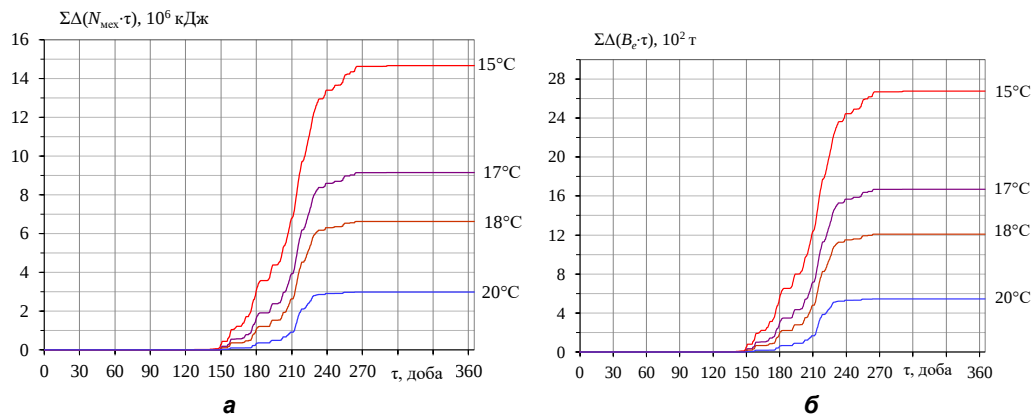


Рис. 3. Скорочення потреб річного виробництва механічної енергії $\Sigma\Delta(N_{\text{мех}} \cdot \tau)$ (а) та відповідного скорочення споживання палива $\Sigma\Delta(B_e \cdot \tau)$ (б) за накопиченням упродовж року при охолодженні повітря до $15, 17, 18$ і 20°C за 2017 р., м. Київ.

Для подальшого порівняння і оцінки методів визначення проектної холодопродуктивності СКПП розраховано показники скорочення вироблення механічної енергії $\Sigma\Delta(N_{\text{мех}} \cdot \tau) = G_{\text{п}} \cdot \Sigma\Delta(q_0 \cdot \tau) / (\eta \cdot \epsilon)$ (рис. 3, а) та відповідного скорочення споживання палива ГПД $\Sigma\Delta(B_e \cdot \tau) = \Sigma\Delta(N_{\text{мех}} \cdot \tau) \cdot \Delta b_e$ (рис. 3, б) для охолодження повітря в СКПП, де $G_{\text{п}}$ – витрата повітря, кг/с; η – електричний КПД ГПД, %; ϵ – холодильний коефіцієнт ПКХМ, Δb_e – питома витрата палива ГПД.

Оцінку екологічного ефекту від скорочення споживання палива розраховано для ГПД JMS 420 GS-N.LC GE Jenbacher [4] (електрична потужність 1400 кВт, тепла потужність 1500 кВт) з витратою палива $\Delta b_e = 0,197 \text{ кг/(кВт} \cdot \text{год)}$.

Як видно з рис. 3 (б) при застосуванні холодильної машини меншої встановленої холодопродуктивності, у разі визначення проектної холодильної потужності за максимальним темпом приросту річного виробництва холоду, при охолодженні повітря до 20°C річне скорочення споживання палива ГПД становить близько 5,5т, а при охолодженні повітря до 15°C зменшення споживання зростає приблизно до 27т порівняно з визначенням проектної потужності за максимальним значенням річного виробництва холоду для кліматичних умов м. Київ, Україна.

Враховуючи, що кожна зекономлена тонна палива для ГПД скорочує викиди двооксиду вуглецю CO_2 на 12,9 кг, а оксиду азоту NO_x на 2,16 кг, було розраховано річне скорочення викидів шкідливих речовин (рис.4-5).

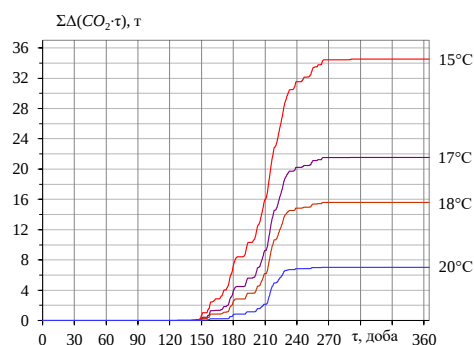


Рис. 4. Зменшення викидів двооксиду вуглецю $\Sigma\Delta(\text{CO}_2 \cdot \tau)$ за накопиченням упродовж року при охолодженні повітря до $15, 17, 18$ і 20°C за 2017 р., м. Київ.

З рис. 4 видно, що, при застосуванні холодильної машини меншої встановленої холодопродуктивності, охолодження повітря до 20°C приводить до зменшення викидів CO_2 на 7 т за рік для кліматичних умов м. Київ, а до 15°C – на 34,5 т.

При охолодженні повітря до 20°C скорочення викидів NO_x складає до 1,2 т щорічно, тоді як при охолодженні до 15°C – до 5,8 т (рис. 5).

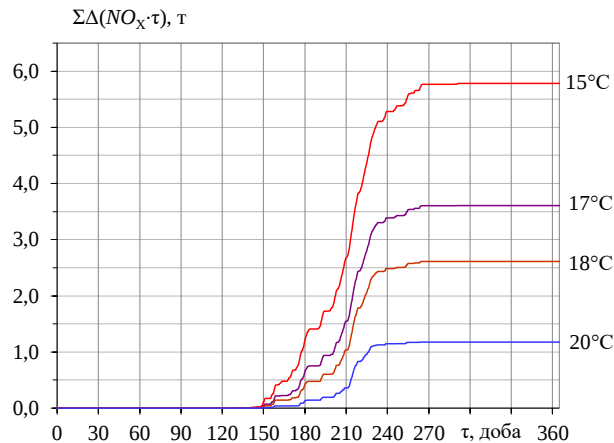


Рис. 5. Зменшення викидів оксиду азоту $\Sigma\Delta(\text{NO}_x \cdot \tau)$ за накопиченням упродовж року при охолодженні повітря до 15, 17, 18 і 20 °C за 2017 р., м. Київ.

Висновки

Проаналізовано і порівняно екологічну ефективність охолодження повітря для кліматичних умов м. Київ, Україна, при різних підходах до визначення встановленої (проектної) холодопродуктивності холодильної машини. Встановлено, що у разі визначення проектної холодопродуктивності за максимальним темпом приросту річного виробництва холоду, досягається більший екологічний ефект у вигляді скорочення викидів CO_2 і NO_x порівняно з визначенням проектної потужності за максимальним значенням річного виробництва холоду.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Marques, R.P., Hacon, D., Tessarollo, A., Parise, J.A.R. (2010). Thermodynamic analysis of tri-generation systems taking into account refrigeration, heating and electricity load demands. *Energy and Buildings*, 42, 2323 - 2330.
- [2] Ortiga, J., Bruno, J.C., Coronas, A. (2013). Operational optimisation of a complex trigeneration system connected to a district heating and cooling network. *Applied Thermal Engineering*, 50, 1536 - 1542.
- [3] Radchenko, A., Radchenko, M., Trushliakov, E., Kantor, S., Tkachenko, V. (2018). Statistical method to define rational heat loads on railway air conditioning system for changeable climatic conditions, *The 5th "International Conference on Systems and Informatics: ICSAI 2018"*, Jiangsu, Nanjing, China.
- [4] GE Jenbacher GmbH & Co OHG (2006). Jenbacher gas engines. Technical Specification. JMS 420 GS-N.L.

Trushliakov, E.I., Radchenko, A.M., Forduy, S.G., Zubarev, A.A., Kantor, S.A., Tkachenko, V.S.

THE ECOLOGICAL EFFICIENCY ANALYSIS OF COMBINED AIR CONDITIONING SYSTEM

The paper investigates the environmental efficiency of air conditioning in the climatic conditions of Kiev. The indicators for assessing the environmental effect are the cumulative annual reductions in carbon dioxide CO_2 and nitrogen oxide NO_x emissions. It is shown that when using the method of ensuring the maximum rate of increase in cold production, the greatest reduction in harmful emissions is observed.

Keywords: air conditioning, cooling capacity, ecology, climate.