

Секція 5. ХОЛОД НА ТРАНСПОРТІ, В ЕНЕРГЕТИЦІ, ТА АГРОПРОМИСЛОВОМУ КОМПЛЕКСІ

УДК 66.067.1.621.72

РАЦІОНАЛЬНЕ ТЕПЛОВЕ НАВАНТАЖЕННЯ СИСТЕМИ КОНДИЦІЮВАННЯ ПОВІТРЯ ЗА ТЕМПОМ ПРИРОЩЕННЯ РІЧНОЇ ХОЛОДОПРОДУКТИВНОСТІ

Трушляков Є.І., к.т.н., професор, Радченко М.І., д.т.н, професор, Портной Б.С., аспірант, Зубарев А.А., ст. викладач,

Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова, Миколаїв, Україна;

Кантор С.А., к.т.н.,

ПАТ "Завод "Екватор", Миколаїв, Україна

nirad50@gmail.com

Анотація. Показано, що виходячи з різного темпу нарощування річного виробництва холоду (річної холодопродуктивності), обумовленого зміною теплового навантаження відповідно до поточних кліматичних умов, необхідно вибирати таке проектне теплове навантаження на систему кондиціювання повітря (встановлену холодильну потужність холодильних машин), яке забезпечує досягнення максимального або близького до нього річного виробництва холоду при відносно високих темпах його нарощування. З метою визначення встановленої холодильної потужності, яка забезпечує максимальний темп нарощування річної холодопродуктивності (річного виробництва холоду), проаналізовано залежність прирощення річної холодопродуктивності, віднесеної до встановленої холодильної потужності, від встановленої холодильної потужності. За результатами досліджень запропоновано метод визначення раціонального теплового навантаження системи кондиціювання повітря (встановленої – проектної холодопродуктивності холодильної машини) відповідно до змінних кліматичних умов експлуатації упродовж року, яке забезпечує близьке до максимального річне виробництво холоду при відносно високих темпах його нарощування.

Ключові слова: кондиціювання повітря, тепловикористовуюча холодильна машина, теплове навантаження, холодопродуктивність, кліматичні умови.

Актуальність теми.

Сумісне виробництво енергії, тепла та холоду – перспективний напрям в сучасній енергетиці [1–2]. Як базові двигуни таких установок комбінованого виробництва енергії застосовуються двигуни внутрішнього згорання (переважно газопоршневі) та газотурбінні. З підвищенням температури зовнішнього повітря $t_{\text{зп}}$ на вході термодинамічна ефективність теплових двигунів, і передусім газотурбінних, знижується. Підвищити ефективність ГТУ можна шляхом кондиціювання повітря (охолодження з осушенням) на вході тепловикористовуючими холодильними машинами (ТХМ), що утилізують теплоту відпрацьованих газів [1–2].

В найбільш поширених абсорбційних бромистолітєвих холодильних машинах (АБХМ) повітря охолоджують до температури $t_{\text{н2}} \approx 15^\circ\text{C}$ за високої ефективності трансформації скидної теплоти в холод: їх тепловий коефіцієнт $\zeta = 0,7 \dots 0,8$. Більше зниження температури повітря до $t_{\text{н2}} = 10^\circ\text{C}$ і нижче можливе в ежекторних холодильних машинах (ЕХМ), однак за менших теплових коефіцієнтів: $\zeta = 0,2 \dots 0,3$ [3]. Доцільним є двоступеневе охолодження повітря на вході ГТУ: до $t_{\text{н2}} = 15 \dots 20^\circ\text{C}$ в АБХМ, а до $t_{\text{н2}} = 10^\circ\text{C}$ в ЕХМ, в абсорбційно-ежекторних холодильних машинах (АЕХМ) [4].

Експлуатація систем кондиціювання повітря (СКП) на вході ГТУ характеризується як сезонними, так і добовими коливаннями температур, відповідно й теплових навантажень Q_0 на СКП і ТХМ. То ж важливо вибирати проектне теплове навантаження на СКП, тобто встановлену холодильну потужність (холодопродуктивність) ТХМ Q_0 , відповідно до змінних кліматичних умов.

Більшу частину року СКП працюють при знижених теплових навантаженнях, що призводить до непродуктивних витрат потужності ГТУ на подолання аеродинамічного опору повітроохолоджувачів (ПО) на вході ГТУ, а також додаткових капітальних витрат, зокрема вартість ТХМ завищеної потужності. То ж необхідно вибирати таке проектне теплове навантаження на СКП, яке забезпечує досягнення максимального або

близького до нього ефекту у вигляді економії палива, збільшення виробництва енергії (механічної/електричної) за певний період, наприклад рік. Оскільки величина ефекту залежить від тривалості τ застосування охолодження та обсягів споживання холоду, то непрямою його характеристикою можуть слугувати обсяги холоду, витраченого за рік на кондиціонування повітря на вході ГТУ, тобто річна холодопродуктивність СКП: $\Sigma(Q_0 \cdot \tau)$.

Мета дослідження – розробка методу визначення раціонального теплового навантаження системи кондиціонування повітря на вході ГТУ.

Результати дослідження.

Встановлена (проектна) питома холодопродуктивність ТХМ q_0 , з одного боку, повинна покривати витрати холоду на кондиціонування повітря на вході ГТУ на протязі якомога більшого часу упродовж року, що забезпечувало б найбільшу річну холодопродуктивність (річне виробництво холоду) $\Sigma(Q_0 \cdot \tau)$. З іншого боку, вона не повинна бути завищеною, щоб більшу частину року СКП експлуатувалась при теплових навантаженнях, близьких до номінального (проектного), інакше матиме місце невисокий коефіцієнт використання ТХМ (експлуатація на часткових навантаженнях, далеких від проектного), а при занижених q_0 , навпаки, – недоохолодження повітря на вході ГТУ при високих температурах $t_{нв}$.

На рис. 1 наведено значення питомої річної холодопродуктивності, тобто питомого річного виробництва холоду $\Sigma(q_0 \cdot \tau) = \Sigma(Q_0 \cdot \tau) / G_n$, де G_n – витрата повітря, в залежності від встановленої питомої холодопродуктивності ТХМ q_0 при температурах повітря $t_{н2} = 15^\circ\text{C}$, охолодженого в АБХМ, та $t_{н2} = 10^\circ\text{C}$ для АЕХМ.

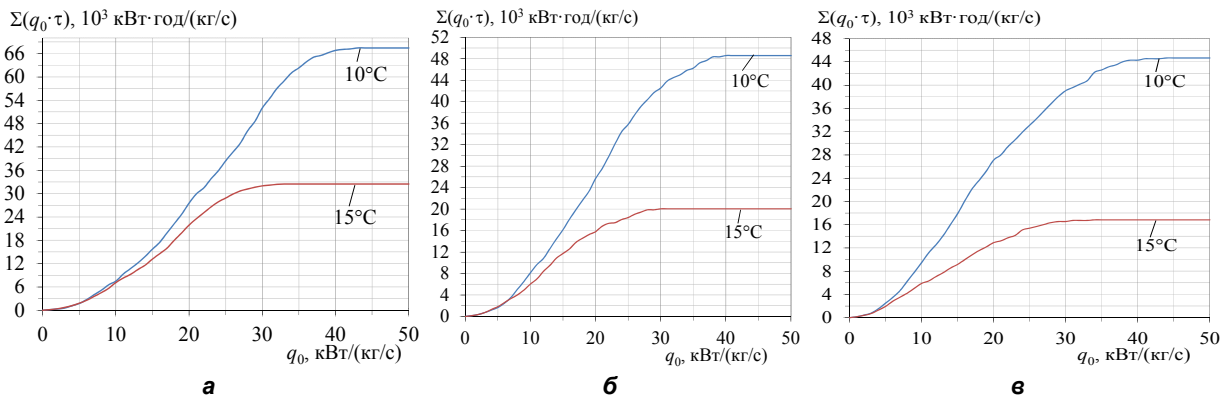


Рис. 1. Значення питомої (при $G_n = 1 \text{ кг/с}$) річної холодопродуктивності $\Sigma(q_0 \cdot \tau) = \Sigma(Q_0 \cdot \tau) / G_n$ в залежності від встановленої (проектної) питомої холодопродуктивності ТХМ q_0 (при $G_n = 1 \text{ кг/с}$) при температурах охолодженого повітря $t_{н2} = 10$ і 15°C за 2017 р.: **а** – Тарутине, Одеська обл., **б** – Шебелинка, Харківська обл., **в** – Ковель, Волинська обл.

Як видно з рис. 1, для кліматичних умов експлуатації ГТУ при охолодженні повітря до температури $t_{н2} = 10^\circ\text{C}$ раціональною можна вважати проектну питому холодопродуктивність ступінчастої АЕХМ (для $G_n = 1 \text{ кг/с}$) $q_0 \approx 34 \text{ кВт} / (\text{кг} / \text{с})$, при якій темп нарощування річного виробництва холоду $\Sigma(q_0 \cdot \tau)$ зберігається достатньо високим, а при охолодженні повітря до $t_{н2} = 15^\circ\text{C}$ в АБХМ – відповідно $q_0 \approx 24 \text{ кВт} / (\text{кг} / \text{с})$. Виходячи з раціональної питомої холодопродуктивності вибирають повну встановлену холодопродуктивність АЕХМ відповідно до витрати повітря G_n через ГТУ: $Q_0 = G_n \cdot q_0$, кВт.

Для визначення встановленої холодопродуктивності (питомої q_0 та повної $Q_0 = q_0 \cdot \tau$), яка забезпечує максимальний темп нарощування річної холодопродуктивності (річного виробництва холоду) необхідно проаналізувати залежність прирощення питомої (при $G_n = 1 \text{ кг/с}$) річної холодопродуктивності $\Sigma(q_0 \cdot \tau)$, віднесеної до встановленої питомої холодопродуктивності ТХМ q_0 , від встановленої питомої холодопродуктивності q_0 (рис. 2).

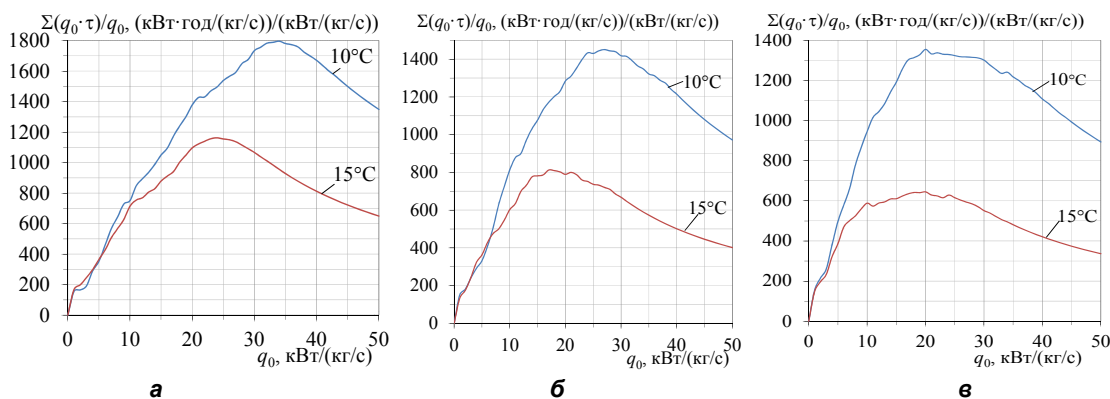


Рис. 2. Значення питомої (при $G_n = 1$ кг/с) річної холодопродуктивності $\Sigma(q_0 \cdot \tau)$, віднесеної до встановленої питомої холодильної потужності q_0 ТХМ, $\Sigma(q_0 \cdot \tau)/q_0$ в залежності від встановленої питомої холодильної потужності q_0 при температурах охолодженого повітря $t_{n2} = 10$ і 15 °С за 2017 р., **а** – Тарутине, Одеська обл., **б** – Шебелинка, Харківська обл., **в** – Ковель, Волинська обл.

Як видно з рис. 2, для кліматичних умов експлуатації ГТУ в межах України за 2017 р. максимальний темп прирощення річної холодопродуктивності $\Sigma(q_0 \cdot \tau)/q_0$ (екстремум графіка) при охолодженні повітря до $t_{n2} = 15$ °С в АБХМ має місце при проектній питомій холодильній потужності $q_0 = 12 - 16$ кВт/(кг/с), а при його охолодженні до $t_{n2} = 10$ °С в ступінчастій АЕХМ $q_0 = 22 - 26$ кВт/(кг/с). Відповідні повні встановлені холодильні потужності АБХМ і АЕХМ, $Q_0 = G_n \cdot q_0$, кВт, забезпечують максимальний темп прирощення річного виробництва холоду.

Оскільки величини встановленої питомої холодильної потужності q_0 , які забезпечують максимальний темп прирощення річної холодопродуктивності $\Sigma(q_0 \cdot \tau)/q_0$ (рис. 2), менше їх величин, визначених відповідно до максимальної річної холодопродуктивності $\Sigma(q_0 \cdot \tau)$ на рис. 1, то при підвищених температурах зовнішнього повітря t_{zn} матиме місце дефіцит холоду, тоді як при знижених температурах повітря t_{zn} , навпаки, його надлишок. То ж надлишок холоду, який утворюється в періоди знижених теплових навантажень, доцільно накопичувати в акумуляторі холоду та використовувати під час збільшених теплових навантажень.

Висновок. За результатами аналізу даних з річної холодопродуктивності (річного виробництва холоду) та її величини, віднесеної до встановленої холодильної потужності, в залежності від встановленої холодильної потужності холодильної машини запропоновано метод визначення раціонального теплового навантаження системи кондиціювання повітря, отже і встановленої – проектної холодопродуктивності холодильної машини, відповідно до змінних кліматичних умов експлуатації упродовж року, який забезпечує близьке до максимального річне виробництва холоду при відносно високих темпах його нарощування.

Список літератури

1. Marque, R.P. 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, J. C. Bruno, A. Coronas // *Applied Thermal Engineering*. – 2013. – Vol. 50. – P. 1536–1542.
3. Радченко, А. Н. Оценка потенциала охлаждения воздуха на входе газотурбинных установок трансформацией теплоты отработанных газов в теплоиспользующих холодильных машинах / А. Н. Радченко, С. А. Кантор // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2014. – № 4 (111). – С. 56–59.
4. Радченко, А. Н. Метод выбора рациональной тепловой нагрузки абсорбционно-эжекторного термотрансформатора охлаждения воздуха на входе регенеративных ГТУ компрессорных станций [Текст] / А. Н. Радченко, С. А. Кантор // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2015. – № 5(122). – С. 61–64.

Trushliakov E.I., Radchenko M.I., Portnoi B.S., Zubarev A.A., Kantor S.A.

RATIONAL THERMAL LOAD OF AIR CONDITIONING SYSTEMS ACCORDING TO YEARLY COLING CAPACITY RATE

Abstract. It is shown that, based on the varying rate of increment in the annual production of cold (annual refrigeration capacity) due to the change in the thermal load in accordance with current climatic conditions, it is necessary to select such a design thermal load for the air conditioning system (installed refrigeration capacity of chillers), which ensures the achievement of maximum or close to it annual production of cold at a relatively high rate of its increment. In order to determine the installed refrigeration capacity, which provides the maximum rate of increase in the annual refrigerating capacity (annual production of cold), the dependence of the increment on the annual refrigerated capacity, relative to the installed refrigeration capacity, on the installed refrigeration capacity, has been analyzed. Based on the results of the research, a method has been proposed for determining the rational thermal load of the air conditioning system (installed – the design refrigeration capacity of the chiller) in accordance with the changing climatic conditions of operation during the year, which provides nearby the maximum annual production of cold at relatively high rates of its growth.

Key words: air conditioning, waste heat recovery chiller, thermal load, refrigeration capacity, climatic conditions.

Трушляков Е.И., Радченко Н.И., Портной Б.С., Зубарев А.А., Кантор С. А.

ТЕПЛОВАЯ НАГРУЗКА СИСТЕМЫ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА СОГЛАСНО ТЕМПУ ПРИРАЩЕНИЯ ГОДОВОЙ ХОЛОДОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

Аннотация. Показано, что исходя из различного темпа приращения годового производства холода (годовой холодопроизводительности), обусловленного изменением тепловой нагрузки в соответствии с текущими климатическими условиями, необходимо выбирать такую проектную тепловую нагрузку на систему кондиционирования воздуха (установленную холодильную мощность холодильных машин), которая обеспечивает достижение максимального или близкого к нему годового производства холода при относительно высоких темпах его приращения. С целью определения установленной холодильной мощности, которая обеспечивает максимальный темп приращения годовой холодопроизводительности (годового производства холода), проанализирована зависимость приращения годовой холодопроизводительности, относительно установленной холодильной мощности, от установленной холодильной мощности. По результатам исследований предложено метод определения рациональной тепловой нагрузки системы кондиционирования воздуха (установленной – проектной холодопроизводительности холодильной машины) в соответствии с меняющимися климатическими условиями эксплуатации в течение года, которое обеспечивает близкое максимальному годовому производству холода при относительно высоких темпах его приращения.

Ключевые слова: кондиционирование воздуха, теплоиспользующая холодильная машина, тепловая нагрузка, холодопроизводительность, климатические условия.

УДК 621.575:620.91: 621.565.8

РАЗРАБОТКА СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ НА БАЗЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

Титлов А.С., доктор технических наук, профессор¹,

Цой А.П., кандидат технических наук, доцент²

Алимкешова А.Х.², Джамашева Р.А.²,

¹ Одесская национальная академия пищевых технологий; ² Алматинский технологический университет

¹ Украина, Одесса; ² Республика Казахстан, Алматы

¹ ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1908-5713>, ¹ E-mail: titlov1959@gmail.com,

² E-mail: teniz@bk.ru

Аннотация. Выполнен анализ возможностей использовать ночное радиационное излучение (НРО) для дополнительного отвода тепла от элементов системы жидкостного охлаждения. Для повышения энергетической эффективности автономных систем охлаждения предложено использовать абсорбционные водоаммиачные холодильные машины и парокомпрессионные холодильные машины, которые позволяют в светлое время суток создавать запасы холода в системе холодоаккумуляции.