

ефективності регулювання холодопродуктивності СКПП в конкретних кліматичних умовах дозволяє не тільки оцінити ефективність того чи іншого способу регулювання, а й ви-явити резерви підвищення ефективності використання встановленої холодопродуктивності.

**Ключові слова:** кондиціонування, припливне повітря, холодопродуктивність, клімат.

УДК 66.067.1.621.72

## УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ КОНДИЦІОНУВАННЯ ЗОВНІШНЬОГО ПОВІТРЯ КОМБІНОВАНОГО ТИПУ

**Є.І. Трушляков, к.т.н., професор, А.М. Радченко, к.т.н., доцент, В.С. Ткаченко, аспірант,**

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

**С.А. Кантор, к.т.н.,**

*ПАТ "Завод "Екватор", Миколаїв, Україна*

*nirad50@gmail.com*

**Анотація.** Обґрунтовано напрям підвищення ефективності кондиціонування зовнішнього повітря в системах комбінованого центрально-місцевого типу шляхом раціонального розподілу теплового навантаження – витрат холодопродуктивності – центрального кондиціонера на зони змінного теплового навантаження відповідно до поточних кліматичних умов і відносно стабільної його величини, тобто витрат холодопродуктивності на подальше охолодження повітря на вході до системи місцевого кондиціонування рециркуляційного повітря в окремих приміщеннях. За результатами зіставлення значень надлишку виробництва холоду та його дефіциту за кожні 3 доби для раціонального проектного теплового навантаження системи кондиціонування (холодопродуктивності встановленої холодильної машини), яке забезпечує близьке до максимального річне виробництво холоду, та за відповідними величинами надлишку і дефіциту холодопродуктивності відповідно до поточних кліматичних умов по накопиченню за упродовж липня обґрунтована доцільність акумуляції надлишку холодопродуктивності центрального кондиціонера при знижених поточних теплових навантаженнях та її використання для покриття дефіциту холоду при підвищених теплових навантаженнях шляхом попереднього охолодження зовнішнього повітря. Розроблено схему комбінованої центрально-місцевої системи кондиціонування повітря, до складу якої входять підсистеми кондиціонування зовнішнього повітря в центральному кондиціонері та місцевого кондиціонування рециркуляційного повітря в окремих приміщеннях.

**Ключові слова:** кондиціонування повітря, холодопродуктивність, попереднє охолодження, клімат.

### Актуальність теми.

Особливістю роботи систем кондиціонування повітря (СКП) є значні коливання теплового навантаження відповідно до поточних параметрів зовнішнього повітря. Низка досліджень присвячена підвищенню ефективності СКП комбінованого типу – центрально-місцевих, або центрально-рециркуляційних [1–4], у тому числі використанню надлишкової холодопродуктивності, накопиченої при зменшених навантаженнях охолодження, для покриття пікових теплових навантажень або попереднього охолодження зовнішнього повітря [5, 6].

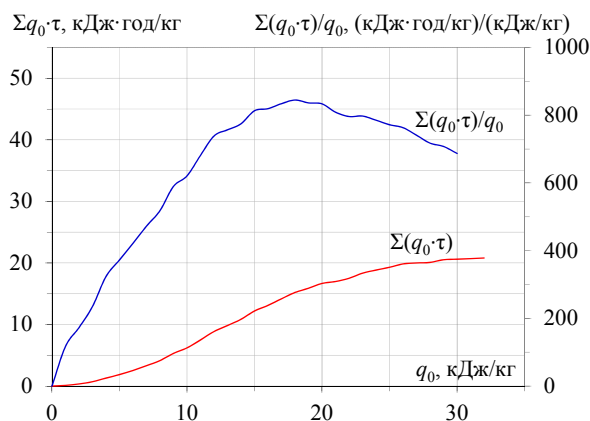
Одним з потужних резервів підвищення енергетичної ефективності СКП є збільшення коефіцієнта використання холодильних машин (ХМ) СКП (тривалості роботи упродовж року при близьких проектному теплових навантаженнях) шляхом визначення раціональної встановленої холодопродуктивності, тобто проектного теплового навантаження СКП, та її раціонального використання відповідно до поточних кліматичних умов, що забезпечує енергетично ефективну роботу СКП при навантаженнях, близьких до номінальних [5, 6].

**Метою** роботи – є підвищення ефективності кондиціонування зовнішнього повітря системи комбінованого центрально-місцевого типу шляхом раціонального розподілу теплового навантаження відповідно до поточних кліматичних умов і відносно стабільної його величини, накопичення надлишку холодопродуктивності та його використання для попереднього охолодження зовнішнього повітря.

### Результати дослідження.

З метою узагальнення і поширення результатів на СКП різної продуктивності – витрати повітря в повітроохолоджувачі (ПО) – доцільно представляти їх характеристики як питомі, тобто у відносних величинах, віднесених до витрати повітря  $G_n$  в ПО.

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  $t_{n2} = 15^\circ\text{C}$  та кліматичних умов Миколаївської обл., 2017 рік, можна судити по рис. 1.



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

Питоме річне виробництво холоду – витрати холодопродуктивності на кондиціювання повітря одиначної витрати ( $G_n = 1$  кг/с)  $\Sigma(q_0 \cdot \tau) = \Sigma(Q_0 \cdot \tau) / G_n$ , кВт·год/(кг/с), або кДж·год/кг, де  $\Sigma(Q_0 \cdot \tau)$  – повне річне виробництво холоду, кВт·год;  $Q_0$  – холодопродуктивність, кВт;  $\tau$  – період, год.

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  $q_{0.15} = 25$  кВт/(кг/с), або кДж/кг, приблизно  $\Sigma(q_0 \cdot \tau)_{15} = 25$  кДж·год/кг і досягається з доволі високим темпом її приросту.

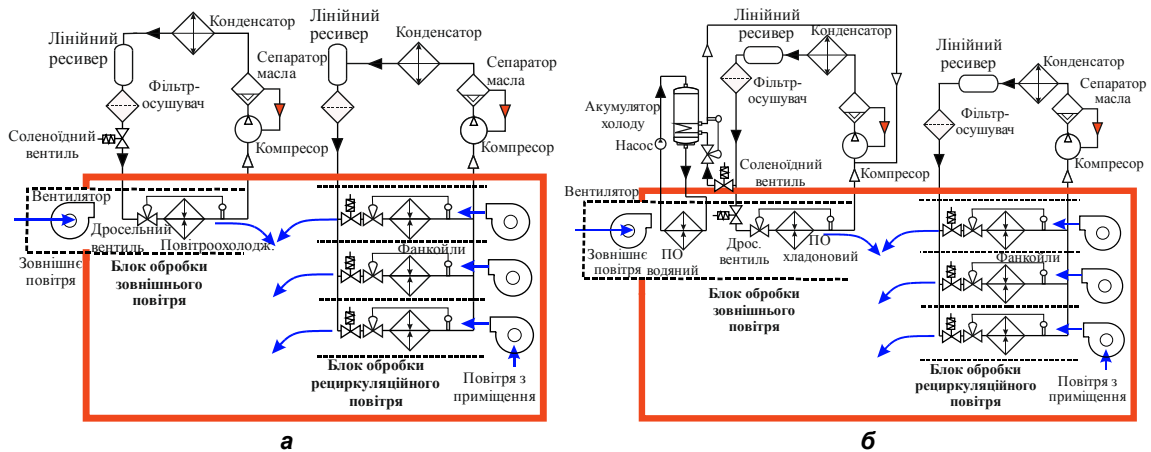
Через падіння темпу приросту  $\Sigma(q_0 \cdot \tau)_{15}$  подальше збільшення проектної питомої холодопродуктивності  $q_{0.10}$  не призводить до помітного збільшення річного виробництва холоду. Таким чином, питому холодопродуктивність  $q_{0.15\text{рац}} = 25$  кДж/кг приймають за раціональну, що забезпечує річне виробництво холоду, близьке до максимального.

Значення річного виробництва холоду  $\Sigma(q_0 \cdot \tau)/q_0$ , віднесеного до встановленої питомої холодопродуктивності  $q_0$  дозволяє визначити мінімальну проектну (встановлену) холодопродуктивність, що забезпечує максимальний темп приросту річного виробництва холоду відповідно до збільшення встановленої холодопродуктивності 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  $q_{0.опт} = 17$  кДж/кг (оптимальне значення  $q_{0.опт}$ ), що значно менше, ніж раціональна  $q_{0.15\text{рац}} = 25$  кДж/кг.

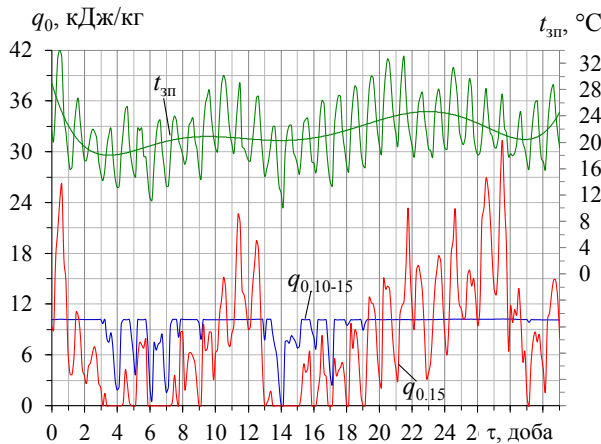
Очевидно, що за меншої встановленої питомої холодопродуктивності  $q_0 = 17$  кДж/кг максимальне значення річного виробництва холоду  $\Sigma(q_0 \cdot \tau)_{15} = 20$  кДж·год/кг може бути досягнуто за рахунок використання надлишку холоду, накопичуваного при зменшених поточних теплових навантаженнях, для покриття підвищених потреб охолодження.

Типова схема центрально-місцевої СКП комбінованого типу та схема вдосконаленої комбінованої СКП з використанням надлишку холоду для попереднього охолодження зовнішнього повітря в ПО водяного охолодження показані на рис. 2.



**Рис. 2.** Типова схема центрально-місцевої СКП (а) та запропонована вдосконалена схема комбінованої СКП з використанням надлишку холоду для попереднього охолодження зовнішнього повітря у водяному ПО (б)

Для обґрунтування підходу до визначення проектного теплового навантаження відповідно до поточних кліматичних умов поточні значення питомого теплового навантаження СКП  $q_{0.15}$ , необхідного для охолодження зовнішнього повітря до  $t_{n2} = 15\text{ }^\circ\text{C}$ , теплового навантаження  $q_{0.10-15} = q_{0.10} - q_{0.15}$  подальшого охолодження повітря від  $t_{n2} = 15\text{ }^\circ\text{C}$  до  $t_{n2} = 10\text{ }^\circ\text{C}$  для кліматичних умов Миколаївської обл. (липень 2017 р.) представлено на рис.3.



**Рис. 3.** Поточні значення питомих теплових навантажень на ПО  $q_{0.15}$ , необхідних для охолодження зовнішнього повітря  $t_{zn}$  до температури  $t_{n2} = 15\text{ }^\circ\text{C}$ , теплового навантаження  $q_{0.10-15}$  для подальшого охолодження повітря від  $t_{n2} = 15\text{ }^\circ\text{C}$  до  $t_{n2} = 10\text{ }^\circ\text{C}$ , температури зовнішнього повітря  $t_{zn}$

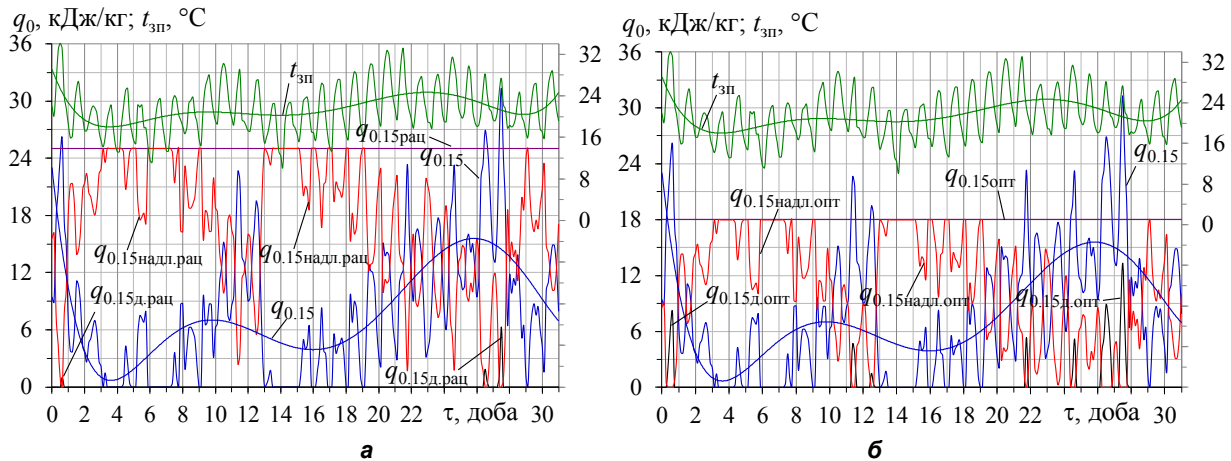
Як видно з рис. 3, при подальшому охолодженні повітря від  $t_{n2} = 15\text{ }^\circ\text{C}$  до  $t_{n2} = 10\text{ }^\circ\text{C}$  коливання теплового навантаження на СКП  $q_{0.10-15}$  спрямовані практично в бік їх зменшення. Тож температуру охолодженого повітря  $t_{n2} = 15\text{ }^\circ\text{C}$  цілком логічно вважати за порогову, подальше охолодження повітря нижче якої проходить за відносно стабільного теплового навантаження  $q_{0.10-15} = q_{0.10} - q_{0.15}$ .

Як видно, характер теплового навантаження на СКП відмінний: значні зміни теплового навантаження  $q_{0.15}$  і порівняно стабільне теплове навантаження  $q_{0.10-15}$  подальшого охолодження повітря від  $t_{n2} = 15\text{ }^\circ\text{C}$  до  $t_{n2} = 10\text{ }^\circ\text{C}$ .

Оскільки раціональне проектне питоме теплове навантаження  $q_{0.15\text{рац}} = 25\text{ кДж/кг}$  вибране дещо менше необхідного для максимального річного виробництва холоду  $\sum(q_0 \cdot \tau)_{15}$  (Рис.1), у найтепліші дні зовнішнє повітря не буде охолоджуватись до температури  $t_{n2} = 15\text{ }^\circ\text{C}$  через дефіцит холодопродуктивності  $q_{0.15\text{д.рац}} = q_{0.15} - 25\text{ кДж/кг}$ .

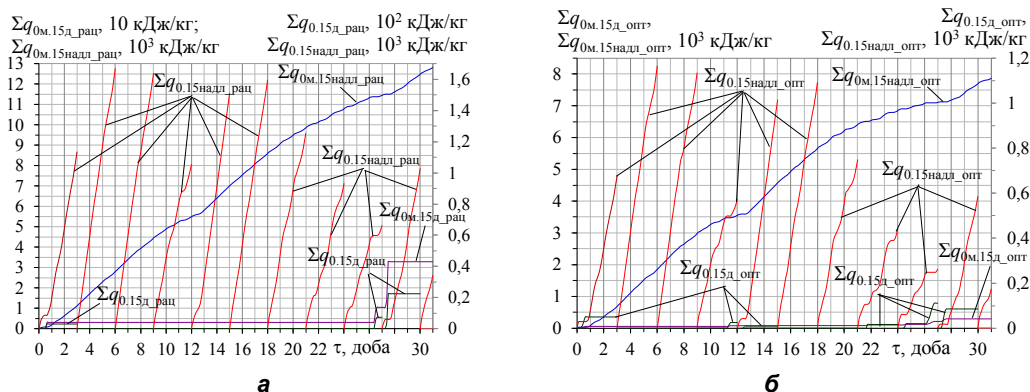
Аналогічно, оскільки оптимальне проектне теплове навантаження  $q_{0.15\text{опт}} = 17$  кДж/кг, в свою чергу, менше раціонального  $q_{0.15\text{рац}} = 25$  кДж/кг, питання покриття дефіциту холодильної потужності  $q_{0.15\text{д.опт}} = q_{0.15} - 18$  кДж/кг постає ще гостріше, то доцільно використовувати холод, накопичений упродовж знижених теплових навантажень на СКП.

Як показують розрахунки, дефіцит холодопродуктивності  $q_{0.15\text{д.рац}}$  (при  $q_{0.15\text{рац}} = 25$  кДж/кг) практично незначний і має місце тільки упродовж лічених годин в липні для кліматичних умов у Миколаївській області (рис. 4,а). Відсутність практично дефіциту холодильної потужності ХМ доводить, що температура повітря  $t_{п2} = 15$  °С обрана правильно. Однак при оптимальному проектному тепловому навантаженні  $q_{0.15\text{опт}} = 17$  кДж/кг) дефіцит холодопродуктивності  $q_{0.15\text{д.опт}}$  суттєво зростає (рис. 4,б).



**Рис. 4.** Поточні значення питомого теплового навантаження  $q_{0.15}$ , необхідного для охолодження зовнішнього повітря від поточної температури  $t_{3п}$  до температури  $t_{п2} = 15$  °С, дефіциту  $q_{0.15\text{д}}$  і надлишку  $q_{0.15\text{надл}}$  для раціонального (а) і оптимального (б) проектного теплового навантаження

Про можливість використання надлишкового холоду, накопиченого при знижених поточних теплових навантаженнях на СКП, для покриття дефіциту при пікових навантаженнях можна тлумачити за розрахованими (для кожних трьох діб) значеннями дефіциту  $\Sigma q_{0.15\text{д.рац}}$  і надлишку  $\Sigma q_{0.15\text{надл.рац}}$  питомого виробництва холоду за кожні 3 доби для раціонального проектного теплового навантаження  $q_{0.15\text{рац}}$ , яке забезпечує максимальне річне виробництво холоду  $\Sigma(q_0 \cdot \tau)$ , а також їх дефіциту  $\Sigma q_{0.15\text{д.опт}}$  та надлишку  $\Sigma q_{0.15\text{надл.опт}}$  за кожні 3 доби для оптимального проектного теплового навантаження  $q_{0.15\text{опт}}$ , що забезпечує максимальний темп приросту річного виробництва холоду  $\Sigma(q_0 \cdot \tau)/q_0$ , а також за відповідними величинами дефіциту  $\Sigma q_{0\text{м.15д}}$  і надлишку  $\Sigma q_{0\text{м.15надл}}$  по накопиченню за місяць для кліматичних умов липня 2017 р. Миколаївської області (рис. 5).



**Рис. 5.** Значення сумарного дефіциту  $\Sigma q_{0.15\text{д}}$  і надлишку  $\Sigma q_{0.15\text{надл}}$  питомої холодопродуктивності для раціонального  $q_{0.15\text{рац}}$  (а) та оптимального  $q_{0.15\text{опт}}$  (б) проектних навантажень за кожні три доби, а також по накопиченню за місяць дефіциту  $\Sigma q_{0\text{м.15д}}$  і надлишку  $\Sigma q_{0\text{м.15надл}}$  питомої холодопродуктивності

Як видно з рис. 5, при зменшенні проектного теплового навантаження від раціонального  $q_{0.15\text{рац}}$  до оптимального  $q_{0.15\text{опт}}$  величина сумарного по накопиченню за місяць надлишку  $\sum q_{0\text{м.15надл}}$  скоротилась з 12,8Дж/кг до 7,8 МДж/кг, а дефіцит  $\sum q_{0\text{м.15д}}$ , навпаки, виріс приблизно з 33 кДж/кг до 290 кДж/кг, однак загалом величини сумарного накопиченого надлишку холодопродуктивності при знижених теплових навантаженнях значно перевищують її дефіцит. Це свідчить про доцільність накопичення надлишку холодопродуктивності та його використання для попереднього охолодження зовнішнього повітря в підсистемі кондиціювання зовнішнього повітря (у центральному кондиціонері) на вході у підсистему кондиціювання повітря в окремих приміщеннях (місцевого кондиціювання рециркуляційного повітря) у складі комбінованої центрально-місцевої СКП за розробленою схемою (рис. 2,б).

**Висновок.** Обґрунтовано напрям підвищення ефективності кондиціювання зовнішнього повітря в системах комбінованого центрально-місцевого типу шляхом раціонального розподілу теплового навантаження центрального кондиціонера на зони змінного теплового навантаження відповідно до поточних кліматичних умов і відносно стабільної його величини на подальше охолодження повітря на вході до системи кондиціювання рециркуляційного повітря в окремих приміщеннях, накопичення надлишку холодопродуктивності центрального кондиціонера та його використання для попереднього охолодження зовнішнього повітря.

Розроблено схему комбінованої центрально-місцевої СКП, до складу якої входять підсистеми кондиціювання зовнішнього повітря в центральному кондиціонері та місцевого кондиціювання рециркуляційного повітря в окремих приміщеннях.

#### Список літератури

5. Radchenko R., Radchenko A., Serbin S., Kantor S., Portnoi B. Gas turbine unite inlet air cooling by using an excessive refrigeration capacity of absorption-ejector chiller in booster air cooler // *HTRSE-2018. E3S Web of Conferences*. – 2018. – V. 70. – 6 p.6. 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"*. – 2018. – pp.1303-1307. Trushliakov E.I., Radchenko A.M., Tkachenko V.S., Kantor S.A.

#### INCREASING THE EFFICIENCY OF AMBIENT AIR CONDITIONING IN THE COMBINED TYPE SYSTEM

**Abstract.** *The direction of increasing the efficiency of outdoor air conditioning in combined central-local type systems by rationally distributing the heat load - cooling capacity of the central air conditioner into zones of variable heat load in accordance with current climatic conditions and its relatively stable value, i.e. cooling capacity required for further air cooling at the entrance to the indoor recirculation air conditioning system is justified. By comparing the values of the excessive production of cold and its deficit within every 3 days for a rational design heat load of the air conditioning system (cooling capacity of the installed refrigeration machine), which provides close to maximum annual production of cold, and the corresponding values of the excess and deficit of cooling capacity in accordance with current climatic conditions during July substantiated the feasibility of accumulating the excess of cooling capacity of a central air conditioner at low current loads and its use for covering cooling deficit at elevated heat loads through pre-cooling the outdoor air. A scheme of a combined central-local air conditioning system, which includes the subsystems for the outdoor air conditioning in a central air conditioner and for the local indoor recirculated air conditioning has been developed.*

**Key words:** *air conditioning, cooling capacity, precooling, climate*

Трушляков Е.И., Радченко А.Н., Ткаченко В.С., Кантор С. А.

#### СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ НАРУЖНОГО ВОЗДУХА КОМБИНИРОВАННОГО ТИПА

**Аннотация.** *Обосновано направление повышения эффективности кондиционирования наружного воздуха в системах комбинированного центрально-местного типа путем рационального распределения тепловой нагрузки - расходов холодопроизводительности - центрального кондиционера на зоны переменной тепловой нагрузки в соответствии с текущими климатическими условиями и относительно стабильной ее величины, то есть затрат холодопроизводительности на дальнейшее охлаждение воздуха на входе в систему местного кондиционирования рециркуляционного воздуха в отдельных помещениях. По результатам сопоставления значений избытка производства холода и его дефицита за каждые 3 суток для рациональной проектной тепловой нагрузки системы кондиционирования (холодопроизводительности установленной холодильной машины), которая обеспечивает близкое к максимальному годовое*

производство холода, и по соответствующим величинам избытка и дефицита холодопроизводительности в соответствии с текущими климатическими условиями по накоплению в течение июля обоснована целесообразность аккумуляции избытка холодопроизводительности центрального кондиционера при пониженных текущих тепловых нагрузках и ее использования для покрытия дефицита холода при повышенных тепловых нагрузках путем предварительного охлаждения наружного воздуха. Разработана схема комбинированной центрально-местной системы кондиционирования воздуха, в состав которой входят подсистемы кондиционирования наружного воздуха в центральном кондиционере и местного кондиционирования рециркуляционного воздуха в отдельных помещениях.

**Ключевые слова:** кондиционирование воздуха, холодопроизводительность, предварительное охлаждение, климат.

УДК 66.067.1.621.72

### МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОГО НАВАНТАЖЕННЯ СИСТЕМ КОНДИЦІЮВАННЯ ПОВІТРЯ З УРАХУВАННЯМ ПОТОЧНИХ КЛІМАТИЧНИХ УМОВ

**Є.І. Трушляков, к.т.н., професор, А.М. Радченко, к.т.н., доцент, Б.С. Портной, аспірант,**  
Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова, Миколаїв, Україна;  
**С.Г. Фордуй, к.т.н., технічний керівник напряму енергоресурсів та енергозбереження**  
PepsiCo, Inc., CTS ESSA, Київ, Україна  
nirad50@gmail.com

**Анотація.** Одним з найбільш привабливих резервів підвищення енергетичної ефективності систем кондиціювання повітря є забезпечення роботи холодильних компресорів в номінальному або близькому до номінального режимах шляхом вибору раціонального проектного теплового навантаження та його розподілу в межах його проектної величини відповідно до характеру поточного теплового навантаження за змінних поточних кліматичних умов з метою максимального або близького до нього річного виробництва холоду відповідно до його витрат на кондиціювання повітря. В загальному випадку весь діапазон поточних теплових навантажень будь-якої системи кондиціювання повітря включає діапазон нестабільних навантажень, пов'язаних з попереднім охолодженням зовнішнього повітря зі значними коливаннями витрат холодопродуктивності відповідно до поточних кліматичних умов, і порівняно стабільну частку холодильної потужності, що витрачається на подальше зниження температури повітря від певної порогової температури до кінцевої температури на виході. Цілком очевидно, що стабільний діапазон теплового навантаження може бути забезпечений при роботі звичайного компресора в режимі, близькому до номінального режимі, тоді як попереднє охолодження зовнішнього повітря зі значними коливаннями теплового навантаження потребує регулювання холодопродуктивності шляхом застосування компресора з регульованою швидкістю. Таким чином, за характером зміни поточних теплових навантажень будь-яка система кондиціювання повітря, чи то центральна система кондиціювання повітря з його тепловологісною обробкою в центральному кондиционері, чи то її комбінація з місцевою рециркуляційною системою кондиціювання повітря в приміщеннях, по суті, складається з двох підсистем: попереднього охолодження зовнішнього повітря і його подальшого охолодження до встановленої кінцевої температури. Запропонований метод розподілу проектного теплового навантаження в залежності від характеру поточних теплових навантажень є корисним для раціонального проектування систем центрального кондиціювання повітря та їх комбінованих версій з місцевою системою кондиціювання повітря.

**Ключові слова:** кондиціювання, проектна холодопродуктивність, теплове навантаження, річне виробництво холоду.

#### Актуальність теми.

Ефективність систем кондиціювання повітря (СКП) та їх холодильних машин (ХМ) залежить від поточного теплового навантаження відповідно до потреб та тривалості роботи протягом року [1, 2]. Чим вони вище, тим більше річне виробництво холоду. Цілком правомірно прийняти річне виробництво холоду за критерій при