



**Міжнародна науково-практична конференція**  
**«ЕНЕРГЕТИЧНІ УСТАНОВКИ ТА АЛЬТЕРНАТИВНІ**  
**ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ» (ESAES – 2024)**

**11-12 березня 2024 року**

Секція: Екологізація енергетичних систем. Енергетика і навколишнє середовище. Енергозберігаючі технології

**"РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДУ РОЗРАХУНКУ РЕЖИМНИХ  
ПАРАМЕТРІВ ТРАНСПОРТНОГО КОНДИЦІОНЕРА ЩОДО  
ПЕРЕВЕДЕННЯ ЙОГО НА ТЕПЛОНАСОСНИЙ РЕЖИМ РОБОТИ"**

**Тарасова Вікторія Олександрівна, Кузнецов Михайло Олександрович,  
Грінченко Дмитро Дмитрович, Шафоростов Данило Денисович**

**Інститут проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного  
Національної академії наук України**

Проектування системи кондиціонування повітря на транспорті є серйозною проблемою через навантаження, що часто змінюється, оскільки це призводить до погіршення комфорту пасажирів і навіть до проблем зі здоров'ям. Тим часом, ускладнення математичної моделі кондиціонера призводить до деякої втрати спільності та наочності отриманих результатів, що утруднює їх аналіз. Тому дослідження, спрямоване на розробку більш зручного методу розрахунку характеристик роботи транспортного кондиціонера, є **актуальним**.

**Метою роботи** є створення методу розрахунку статичних характеристик автономного транспортного кондиціонера шляхом розроблення математичної моделі теплогідравлічних процесів, що протікають в контурі циркуляції холодоагенту, яка б враховувала специфічні особливості його експлуатації, щодо переведення його у роботу в теплонасосному режимі.

**Задачами дослідження** є:

- верифікація розробленої методики розрахунку статичних характеристик холодильної машини шляхом аналізу роботи транспортного кондиціонера в холодильному режимі за наявними даними, які включають проектну документацію та експериментальні дані;
- прогнозування статичних характеристик транспортного кондиціонера у теплонасосному режимі роботи під час варіювання температури навколишнього середовища (зовнішнього повітря на вході у випарник).

## Методика розрахунку статичних характеристик роботи холодильної машини

В основу методики покладено моделювання контуру циркуляції холодоагенту шляхом побудови рівнянь теплового балансу елементів установки. При відомих температурах повітря на вході у випарник  $T_{\text{вип1}}$  та на вході в конденсатор  $T_{\text{кд1}}$ , відносної вологості зовнішнього повітря  $\phi$ , поверхнях випарника  $F_{\text{вип}}$  та конденсатора  $F_{\text{кд}}$ , витратах повітря  $G_{\text{вип}}$ ,  $G_{\text{кд}}$ , заданому компресорі (його теоретичної подачі  $V_T$ ) та типі холодоагенту розраховуються такі параметри:

- температура випаровування: 
$$T_0 = T_{\text{вип1}} - \frac{Q_0}{G_{\text{вип}} c_{p_{\text{вип}}} \xi \bar{\eta}_{\text{вип}}}; \quad \bar{\eta}_{\text{вип}} = 1 - e^{-\frac{k_{\text{вип}} F_{\text{вип}}}{G_{\text{вип}} c_{p_{\text{вип}}}}}$$
- температура конденсації: 
$$T_k = T_{\text{кд1}} + \frac{Q_{\text{кд}}}{G_{\text{кд}} c_{p_{\text{кд}}} \bar{\eta}_{\text{кд}}}; \quad \bar{\eta}_{\text{кд}} = 1 - e^{-\frac{k_{\text{кд}} F_{\text{кд}}}{G_{\text{кд}} c_{p_{\text{кд}}}}}$$
- температура повітря на виході з конденсатора: 
$$T_{\text{кд2}} = T_k - (T_k - T_{\text{кд1}}) \bar{\eta}_{\text{кд}}$$
- температура повітря на виході з випарника: 
$$T_{\text{вип2}} = T_{\text{вип1}} - \frac{Q_0}{G_{\text{вип}} c_{p_{\text{вип}}}}$$
- холодопродуктивність: 
$$Q_0 = m_{\text{хл}} [(1 - x_{\text{вх}}) r + (i_1 - i_{\text{вих}}^{\text{вип}})]; \quad Q_0 = G_{\text{вип}} c_{p_{\text{вип}}} \xi \bar{\eta}_{\text{вип}} (T_{\text{вип1}} - T_0); \quad Q_0 = G_{\text{вип}} c_{p_{\text{вип}}} (T_{\text{вип1}} - T_{\text{вип2}})$$
- теплопродуктивність: 
$$Q_{\text{кд}} = m_{\text{хл}} (i_{\text{вх}}^{\text{кд}} - i_{\text{вих}}^{\text{кд}}); \quad Q_{\text{кд}} = G_{\text{кд}} c_{p_{\text{кд}}} (T_{\text{кд2}} - T_{\text{кд1}}); \quad Q_{\text{кд}} = G_{\text{кд}} c_{p_{\text{кд}}} \bar{\eta}_{\text{кд}} (T_k - T_{\text{кд1}}); \quad m_{\text{хл}} = \lambda_{\text{км}} V_T / v_1$$
- холодильний коефіцієнт  $\varepsilon$  та коефіцієнт перетворення  $\mu$ : 
$$\varepsilon = \frac{Q_0}{N_{\text{ед}}}; \quad \mu = \frac{Q_{\text{кд}}}{N_{\text{ед}}}$$

## Верифікація методики розрахунку статичних характеристик для аналізу роботи транспортного кондиціонера КВ-1-28 в холодильному режимі за наявними даними, які включають проектну документацію та експериментальні дані

**Таблиця 1.** Тестовий розрахунок транспортного кондиціонера КВ-1-28 (холодильний режим роботи)

Параметр	Режим 1 (випробування)	Режим 2 (розрахунок)	Режим 3 (розрахунок)
Масова витрата повітря через конденсатор, кг/с	-	3,09	5,09
Масова витрата фреону, кг/с	-	0,29	0,286
Температура зовнішнього повітря $T_{кд1}$ , °С	40,0	40,0	40,0
Температура на вході у випарник $T_{вип1}$ з урахуванням 30 % рециркуляції повітря, °С	30,46	30,46	30,46
Теплопродуктивність $Q_{кд}$ , кВт	43,2	40,03	39,94
Холодопродуктивність $Q_0$ , кВт	30,57	30,09	30,7
Температура повітря на виході з випарника $T_{вип2}$ , °С	16,13	17	16,93
Температура повітря на виході з конденсатора $T_{кд2}$ , °С	55	52,95	47,84
Температура конденсації $T_{к}$ , °С	-	56,60	53,04
Температура випаровування $T_0$ , °С	-	6,51	5,97
Індикаторна потужність $N_{км}$ , кВт	12,63	9,94	9,24
Споживана потужність приводу КМ $N_{ед}$ , кВт	16,84	13,25	12,32
Холодильний коефіцієнт	1,82	2,27	2,49

Відносна похибка розрахунку по теплопродуктивності не перевищує 7,5 %, а по холодопродуктивності – 1,6 %.

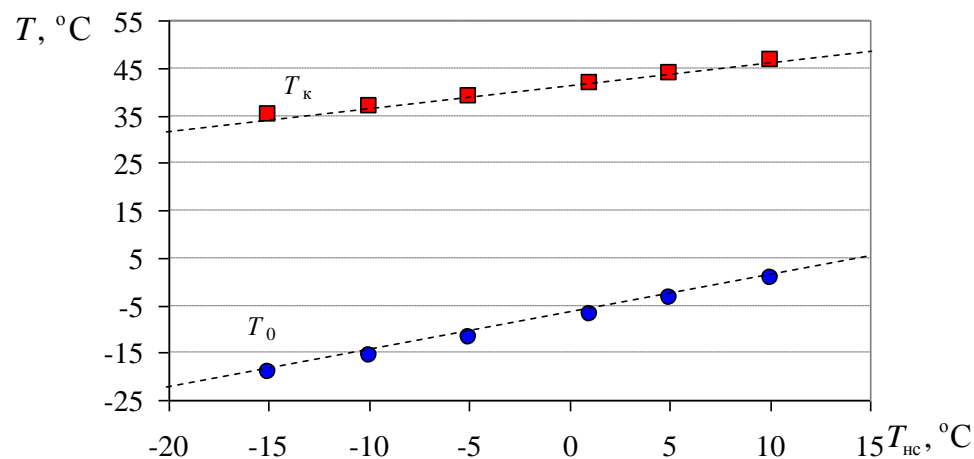
## Прогнозування статичних характеристик транспортного кондиціонера КВ-1-28 під час роботи в теплонасосному режимі

**Таблиця 2.** Розрахункові статичні характеристики кондиціонера КВ-1-28 під час роботи в теплонасосному режимі  
(частота електромережі 60 Гц)

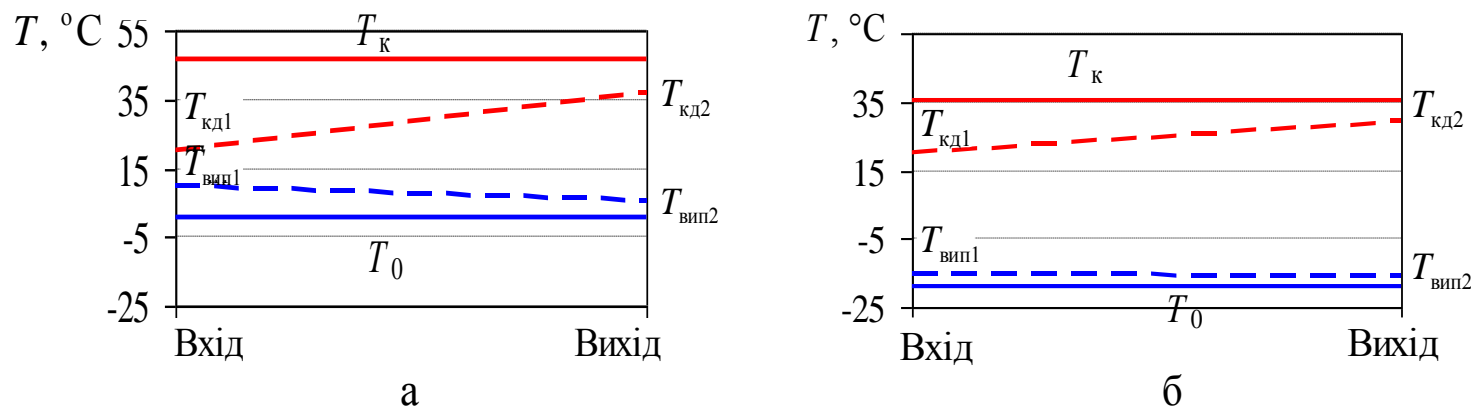
Температура низькопотенційного джерела (температура навколишнього середовища), °С	-15	-10	-5	1	5	10
Теплопродуктивність, кВт	20,17	22,57	25,25	28,97	31,62	35,30
Холодопродуктивність, кВт	14,42	16,46	18,74	21,84	24,19	27,34
Температура повітря на виході з випарника (в атмосферу), °С	-16	-12,96	-8,31	-2,77	0,93	5,57
Температура повітря на виході з конденсатора (у вагон), °С	29,6	30,74	32,02	33,79	35,05	36,81
Температура конденсації, °С	35,18	36,9	39,01	41,81	43,81	46,58
Температура випаровування, °С	-19	-15,6	-11,87	-6,79	-3,54	0,65
Індикаторна потужність компресора, кВт	5,74	6,11	6,51	7,13	7,43	7,96
Споживана потужність, кВт	7,65	8,15	8,68	9,51	9,91	10,61
Коефіцієнт перетворення теплового насоса $\mu$	2,63	2,77	2,91	3,05	3,19	3,33

Розрахунки проводилися з допомогою методу ітерацій.

Графіки залежностей параметрів кондиціонера КВ-1-28 від температури навколишнього середовища  $T_{\text{нс}}$  під час роботи у теплонасосному режимі (частота електромережі 60 Гц)

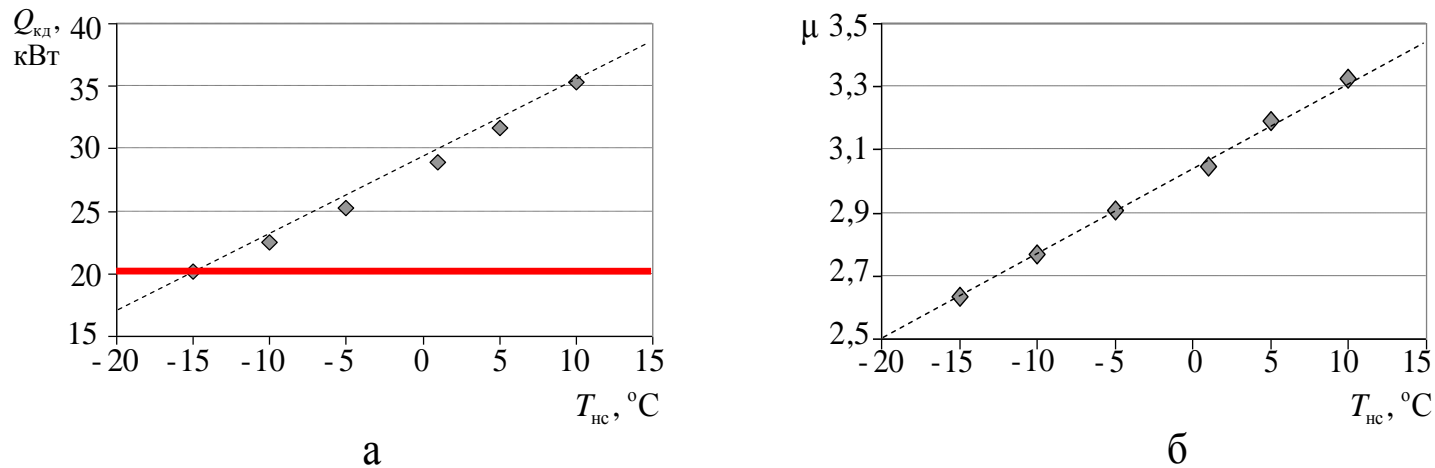


**Рис. 1.** Залежність температур конденсації  $T_{\text{к}}$  і випаровування  $T_0$  від температури навколишнього середовища  $T_{\text{нс}}$  при температурі повітря на вході в конденсатор  $T_{\text{кд1}} = 20^\circ\text{C}$  (60 Гц)



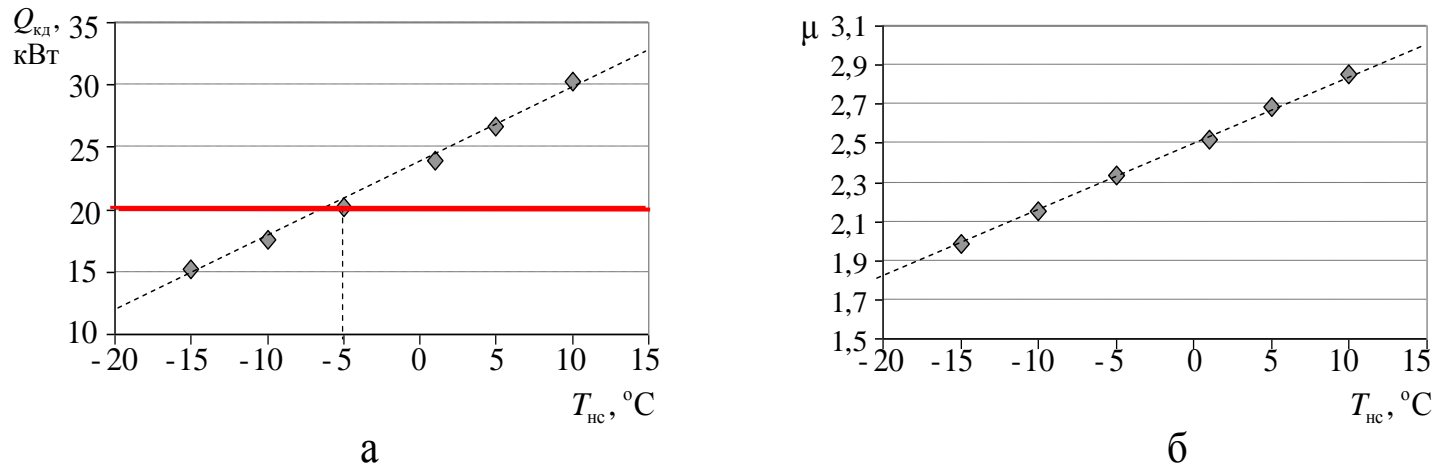
**Рис. 2.** Температурні межі циклу  $T_{\text{к}}$ ,  $T_0$ ,  $T_{\text{кд2}}$ ,  $T_{\text{кд1}}$ ,  $T_{\text{вип2}}$  при температурах повітря на вході у випарник  $T_{\text{вип1}} = 10^\circ\text{C}$  (а) та  $T_{\text{вип1}} = -15^\circ\text{C}$  (б) (60 Гц)

**Графіки залежностей параметрів кондиціонера КВ-1-28 від температури навколишнього середовища  $T_{nc}$  під час роботи у теплонасосному режимі (частота електромережі 60 Гц)**



**Рис. 3.** Залежність теплопродуктивності  $Q_{kd}$  (а) та коефіцієнта перетворення  $\mu$  (б) КВ-1-28 від температури навколишнього середовища  $T_{nc}$  при температурі повітря на вході в конденсатор  $T_{кд1} = 20$  °С (60 Гц)

**Графіки залежностей параметрів кондиціонера КВ-1-28 від температури навколишнього середовища  $T_{nc}$  під час роботи у теплонасосному режимі (частота електромережі 50 Гц)**



**Рис. 4.** Залежність значень  $Q_{kd}$  (а) та  $\mu$  (б) КВ-1-28 від температури  $T_{nc}$  при  $T_{кд1} = 20$  °С (50 Гц)

# Висновки

1. Розроблена методика розрахунку статичних характеристик роботи холодильної машини була верифікована шляхом аналізу роботи транспортного кондиціонера в холодильному режимі за наявними даними, які включають проектну документацію та експериментальні дані. Відносна похибка результатів розрахунку, порівняно з даними випробувань, не перевищила 7,5 %.

2. Результати розрахунків за запропонованою методикою показують, що при переведенні в теплонасосний режим роботи транспортний кондиціонер КВ-1-28 забезпечує необхідну теплопродуктивність (більше 20 кВт) за температури навколишнього середовища (зовнішнього повітря на вході у випарник) від мінус 15 °С і вище при роботі компресора з частотою електромережі 60 Гц та від мінус 5 °С і вище при роботі компресора з частотою електромережі 50 Гц. Отримані результати носять теоретичний характер і не враховують можливість обмерзання теплообмінної поверхні випарника та, відповідно, зниження теплопродуктивності КВ-1-28 в теплонасосному режимі роботи при низьких температурах навколишнього середовища.





Дякуємо за увагу!