

УДК 621.433:621.57

А.Н. Радченко, А.В. Грич, Б.С. Портной

Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова,
просп. Героев Сталинграда, 9, г. Николаев, 54025, Украина

СТУПЕНЧАТОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ ПРИТОЧНОГО ВОЗДУХА МАШИННОГО ОТДЕЛЕНИЯ АВТОНОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Проанализировано охлаждение приточного воздуха машинного отделения автономной электростанции традиционное – с подачей в воздухоохладители хладоносителя (воды) от абсорбционной бромистолитиевой холодильной машины, а также глубокое охлаждение воздуха с использованием хладоносителя с более низкой температурой, полученного в комбинированной двухступенчатой холодильной машине. Определены параметры охлаждаемого воздуха в воздухоохладителях при разных способах тепловлажностной обработки.

Ключевые слова: охлаждение – тепловлажностные параметры воздуха – воздухоохладитель.

А.М. Радченко, А.В. Грич, Б.С. Портной

Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова,
просп. Героїв Сталинграда, 9, м. Миколаїв, 54025, Україна

СТУПІНЧАСТЕ ОХОЛОДЖЕННЯ ПРИТОЧНОГО ПОВІТРЯ МАШИННОГО ВІДДІЛЕННЯ АВТОНОМНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Проаналізовано охолодження приточного повітря машинного відділення автономної електростанції традиційне – з подачею в повітроохолоджувачі хладоносія (води) від абсорбційної бромистолітійової холодильної машини, а також глибоке охолодження з використанням хладоносія з більш низькою температурою, отриманого в комбінованій двоступеневій холодильній машині. Визначені параметри охолоджуваного повітря при різних способах тепловологісної обробки.

Ключові слова: охолодження – тепловологісні параметри повітря – повітроохолоджувач.

DOI: 10.15673/0453-8307.1/2015.36780



This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

I. АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ И ПОСТАНОВКА ЦЕЛИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Температура воздуха в машинном отделении (МО), откуда воздух поступает на всасывание турбокомпрессоров (ТК) газовых двигателей (ГД) автономных электростанций, обычно поддерживается системой вентиляции или охлаждением приточного воздуха в центральном кондиционере с подачей в воздухоохладители (ВО) холодной воды с температурой 7...10 °С, поступающей от абсорбционной бромистолитиевой холодильной машины (АБХМ), утилизирующей сбросную теплоту ГД [1, 2].

В работе [3] предложена система охлаждения приточного воздуха МО с подачей охлажденного воздуха непосредственно на вход ГД отдельным воздухопроводом, которая позволяет существенно сократить расход воздуха и увеличить глубину его охлаждения при снижении затрат холода.

Цель исследования – анализ эффективности и определение параметров воздухоохладителей

глубокого охлаждения приточного воздуха МО автономной электростанции.

II. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализ эффективности охлаждения приточного воздуха МО произведен на примере автономной теплоэлектростанции завода ООО "Сандора" – "Pepsico Ukraine" (пос. Южный, Николаевская обл.). Установка включает два когенерационных ГД JMS 420 GS-N.LC GE Jenbacher (электрическая мощность одного ГД 1400 кВт, тепловая мощность 1500 кВт), АБХМ типа AR-D500L2 Century (холодильной мощностью 2000 кВт) и два центральных кондиционера SIC Jan HREBEC (Чехия) H.63 (холодопроизводительностью по 350 кВт и объемным расходом воздуха по 60000 м³/ч каждый).

Ранее было показано, что уменьшение расхода воздуха через ВО установленных кондиционеров до $G_b = 35000 \text{ м}^3/\text{ч}$ обеспечивает большее снижение температуры приточного воздуха: $\Delta t_{BO} = t_{нв} - t_{вых.ВО} = 15...17 \text{ °С}$ (против $\Delta t_{BO} =$

10...12 °С при $G_B = 60000 \text{ м}^3/\text{ч}$ с понижением температуры воздуха на выходе из ВО до $t_{\text{вых.ВО}} = 15...18 \text{ °С}$ (против $t_{\text{вых.ВО}} = 25...27 \text{ °С}$) при максимальной $t_{\text{нв}} = 35 \text{ °С}$ [3].

Температура воздуха на выходе ВО ограничивается температурой воды, подаваемой от АБХМ: $t_{\text{вх.вод}} = 7 \text{ °С}$. Для более глубокого охлаждения температура охлаждающей воды должна быть ниже: $t_{\text{вх.вод}} = 3...4 \text{ °С}$, получить которую можно, дополнительно охлаждая воду после

АБХМ, например, с помощью эжекторной холодильной машины (ЭХМ) на хладонах.

Чтобы понизить температуру воздуха $t_{\text{вых.ВО}}$ на выходе ВО, можно использовать двухступенчатые системы охлаждения воздуха с подачей в первую (высокотемпературную) ступень ВО₁ охлаждающей воды с температурой $t_{\text{вх.вод}} = 7 \text{ °С}$ (от АБХМ), а во вторую (низкотемпературную) ступень ВО₂ – воды с температурой $t_{\text{вх.вод}} = 4 \text{ °С}$, дополнительно охлажденной в ЭХМ (рисунок 1б).

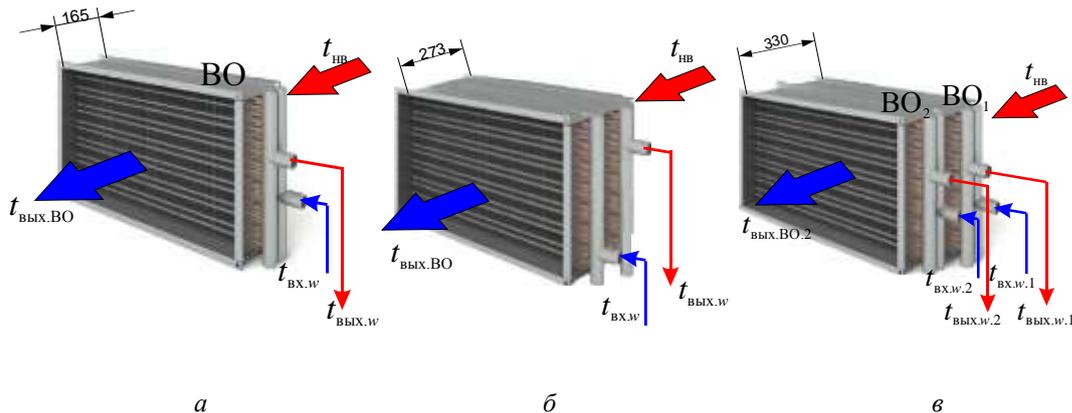


Рисунок 1 – Принципиальная схема трехрядного (а), восьмирядного (б) и двухступенчатого (в) воздухоохладителей

В базовом варианте в качестве ВО₁ используется трехрядный ВО производства фирмы Güntner, которым оборудован центральный кондиционер. Приточный воздух охлаждается в ВО₁ ($t_{\text{вх.вод}} = 7 \text{ °С}$) от $t_{\text{нв}}$ до $t_{\text{вых.ВО.1}}$ (рисунок 2). При этом глубина охлаждения воздуха в ВО₁ в самое жаркое время суток $\Delta t_{\text{ВО.1}} = 18 \text{ °С}$.

Температура воды, доохлажденной в ЭХМ, на

входе ВО₂: $t_{\text{вх.вод.2}} = 4 \text{ °С}$. Расходы воды через обе ступени ВО одинаковые: $50 \text{ м}^3/\text{ч}$. Температура воздуха на входе в ВО₂ $t_{\text{вх.ВО.2}} = t_{\text{вых.ВО.1}}$. Из рисунка 3 видно, что $t_{\text{вх.ВО.2}}$ меньше по сравнению с первой $\Delta t_{\text{ВО.2}} = 8 \text{ °С}$ меньше по сравнению с первой $\Delta t_{\text{ВО.1}} = 18 \text{ °С}$. При этом тепловая нагрузка $Q_{\text{ист}}$ на первую ступень ВО₁ значительно превышает ее величину $Q_{\text{ист}}$ на ВО₂ (рисунок 4).

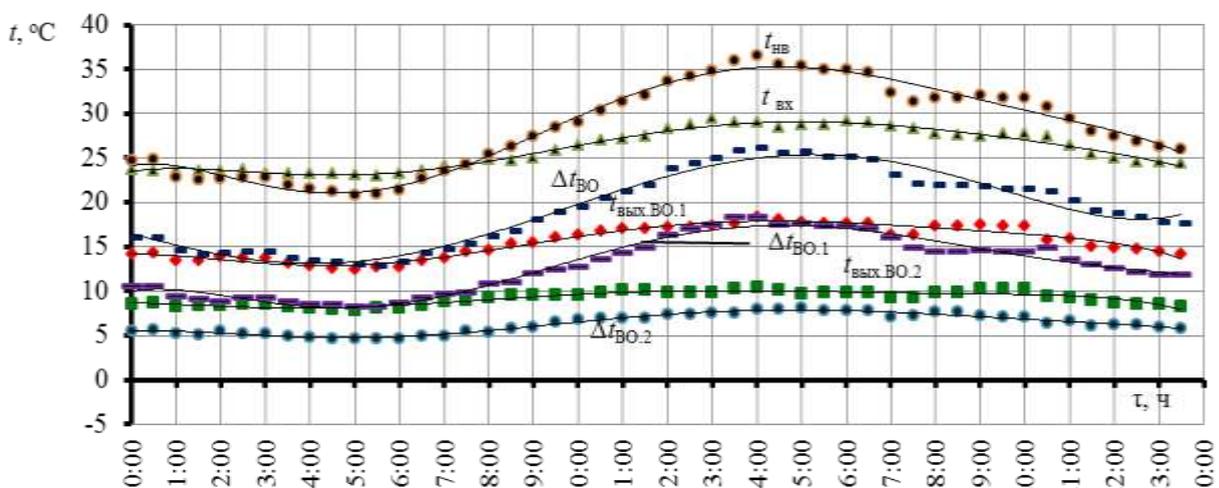


Рисунок 2 – Изменение температуры наружного воздуха $t_{\text{нв}}$, на входе ТК ГД $t_{\text{вх}}$, на выходе из первой ступени ВО $t_{\text{вых.ВО.1}}$, снижения температур воздуха в первой ступени ВО $\Delta t_{\text{ВО.1}} = t_{\text{нв}} - t_{\text{вых.ВО.1}}$, на выходе со второй ступени ВО $t_{\text{вых.ВО.2}}$, снижения температур воздуха во второй ступени ВО $\Delta t_{\text{ВО.2}} = t_{\text{вых.ВО.1}} - t_{\text{вых.ВО.2}}$, полная глубина охлаждения приточного воздуха $\Delta t_{\text{ВО}} = t_{\text{нв}} - t_{\text{вых.ВО.2}}$, в течение суток при расходе воздуха $35000 \text{ м}^3/\text{ч}$.

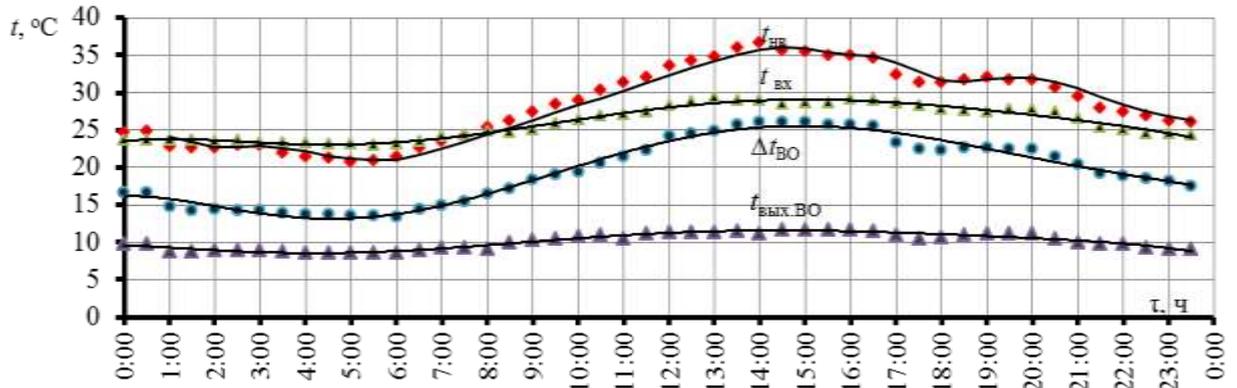


Рисунок 3 – Изменение температуры наружного воздуха $t_{нв}$, на входе ГД $t_{вх}$, на выходе из ВО $t_{вых,ВО}$, снижение температуры воздуха в ВО $\Delta t_{ВО} = t_{нв} - t_{вых,ВО}$, в течение суток при расходе воздуха $35000 \text{ м}^3/\text{ч}$ и температуре охлаждающей воды $t_{вх,вод} = 4 \text{ }^\circ\text{C}$

Коэффициент влаговываждения (ξ – отношение полного количества теплоты, отведенной от воздуха, к ее явной составляющей, определяемой разностью температур воздуха) $\xi_{пст}$ во второй ступени ВО₂ больше ее величины $\xi_{пст}$ в ВО₁.

Полная глубина двухступенчатого охлаждения приточного воздуха самое жаркое время суток (12⁰⁰-14⁰⁰) составляет $\Delta t_{ВО} = t_{нв} - t_{вых,ВО,2} = 23...25 \text{ }^\circ\text{C}$, что намного больше, чем при одноступенчатом: $\Delta t_{ВО} = t_{нв} - t_{вых,ВО,1} = 15...18 \text{ }^\circ\text{C}$. При этом температура воздуха на выходе из двухступенчатого ВО примерно $10 \text{ }^\circ\text{C}$ против $28 \text{ }^\circ\text{C}$ для базового варианта.

Таким образом, использование в ВО₂ воды с температурой $t_{вх,вод,2} = 4 \text{ }^\circ\text{C}$, охлажденной в ЭХМ, позволяет существенно увеличить глубину охла-

ждения приточного воздуха в ВО. Но для этого надо увеличить число рядов труб по глубине ВО до 8 по сравнению с 3-рядным базовым ВО, которым оборудован кондиционер.

Можно сделать вывод, что восьмирядный ВО имея практически одинаковые показатели глубины охлаждения $\Delta t_{ВО}$ и холодопроизводительности $Q_{8ряд} \approx Q_{2ст}$, имеет меньшие габариты по глубине по сравнению с двухступенчатым ВО (сравнить рисунок 1, б и в) и более простую и дешевую схему.

Применение восьмирядного ВО с температурой охлаждающей воды $t_{вх,вод} = 4 \text{ }^\circ\text{C}$ позволяет получить глубину охлаждения приточного воздуха в самое жаркое время суток $\Delta t_{ВО} = 24...27 \text{ }^\circ\text{C}$, что практически равно глубине охлаждения двухступенчатого ВО (рисунок 2).

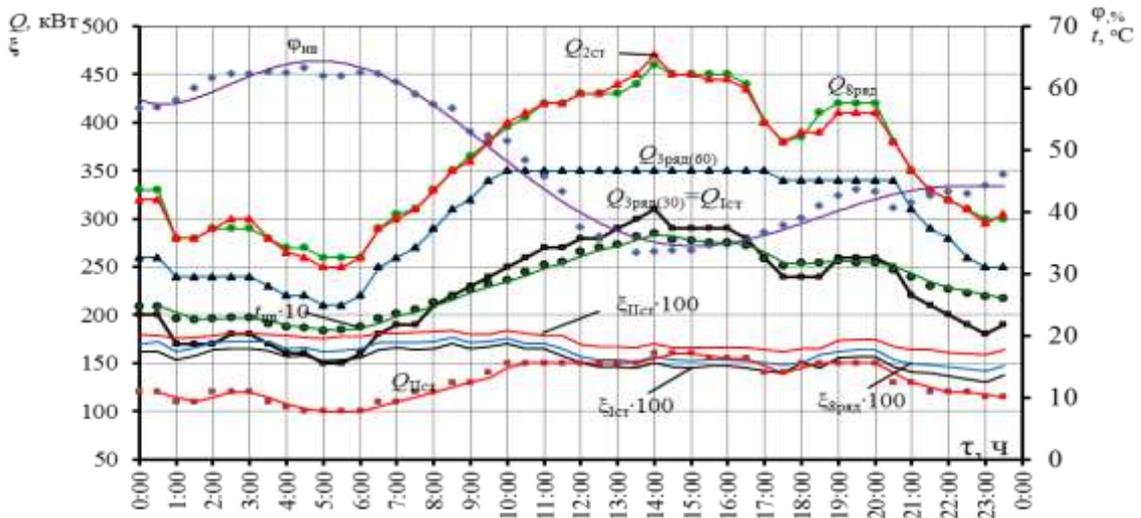


Рисунок 4 – Изменение холодопроизводительности трехрядного ВО $Q_{3ряд(60)}$ при расходе воздуха $60000 \text{ м}^3/\text{ч}$ и температуре охлаждающей воды $t_{вх,вод} = 7 \text{ }^\circ\text{C}$, $Q_{3ряд(35)}$ при расходе воздуха $35000 \text{ м}^3/\text{ч}$, первой ступени ВО $Q_{1ст}$, второй ступени ступени ВО $Q_{2ст}$, общей холодопроизводительности двухступенчатого ВО $Q_{2ст}$, $Q_{8ряд}$ восьмирядного ВО при температуре охлаждающей воды $t_{вх,вод} = 4 \text{ }^\circ\text{C}$, коэффициент влаговываждения первой ступени $\xi_{пст} \cdot 100$, второй ступени $\xi_{пст} \cdot 100$, 8-ми рядного ВО $\xi_{8ряд}$, $\phi_{нв}$ – относительная влажность наружного воздуха

Существенно повысить глубину охлаждения $\Delta t_{\text{ВО}}$ восьмирядного ВО по сравнению с двухступенчатым ВО невозможно, так как оба ВО ограничены температурой охлаждающей воды $t_{\text{вх.вод}} = 4 \text{ }^\circ\text{C}$ и расходом $50 \text{ м}^3/\text{ч}$. Холодопроизводительности двухступенчатого ВО, $Q_{2\text{ст}} = Q_{1\text{ст}} + Q_{\text{пст}}$, и восьмирядного ВО $Q_{8\text{ряд}}$ практически одинаковые (рисунки 4).

ВЫВОДЫ

Проанализирована эффективность и определены параметры воздухоохладителей глубокого охлаждения приточного воздуха МО автономной теплоэлектростанции. Показано, что двухступенчатое охлаждение приточного воздуха холодной водой сначала от АБХМ, а затем от ЭХМ с температурой соответственно 7 и 4 $^\circ\text{C}$ обеспечивает в 1,4...1,5 раза большее снижение температуры воз-

духа по сравнению с традиционным охлаждением водой от АБХМ.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Elsenbruch, T.** Jenbacher gas engines a variety of efficient applications [Text] / T. Elsenbruch. – București, October 28, 2010. – 73 p.
2. **Radchenko, A.** Improving transformation of waste heat of cogeneration gas engine module by absorption lithium-bromide chiller [Text] / A. Radchenko, S. Ryzkov, N. Radchenko // Proceedings of the 15 International Symposium on Heat Transfer and Renewable Sources of Energy: HTRSE-2014. – Szczecin, Poland. – 2014. – P.348–341.
3. **Радченко А.М.** Охлаждения приточного повітря машинного відділення газових двигунів тригенераційної установки [Текст] / А.М. Радченко, А.В. Грич // Холодильна техніка та технологія. – 2014. – № 6(152). – 2014. – С. 20–25.

A.N. Radchenko, A.V. Grich, B.S. Portnoy

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, pr. Geroev Stalingrada, 9, Nikolaev, 54025, Ukraine

STAGE COOLING OF INTAKE AIR FOR INTEGRATED ELECTRICAL STATION ENGINE ROOM

Cooling of intake air for integrated electrical station engine room traditionally – by directing to air coolers of a coolant (water) from absorption lithium-bromide chiller and also deep cooling of the air by using a coolant with lower temperature received in combined two-stage chiller has been analyzed. The parameters of the air being cooled in the air coolers with various approaches of heat humidity treatment were determined.

Key words: Cooling – Heat humidity treatment air parameters – Air cooler.

REFERENCES

1. **Elsenbruch, T.** Jenbacher gas engines a variety of efficient applications – București, October 28, 2010. – 73 p.
2. **Radchenko, A., Ryzkov, S., Radchenko, N.** 2014. Improving transformation of waste heat of cogeneration gas engine module by absorption lithium-bromide chiller. *Proceedings of the 15 International Symposium on Heat Transfer and Renewable Sources of Energy: HTRSE-2014.* – Szczecin, Poland, 348–341.
3. **Radchenko, A. M., Grich, A.V.** 2014. The cooling of trigeneration system gas engine room intake air Kholodylna tekhnika ta tekhnologiya [Refrigeration engineering and technology]. –No. 6(152), 20–25. (in Ukrainian) doi: 10.15673/0453-8307.6/2014.30695

Отримана в редакції 07.11.2014, прийнята до друку 17.11.2014