

УДК 621.57

А.Н. Радченко, А.В. Коновалов, Н.И. Радченко, А.В. Остапенко, А.С. Манилов

Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова, Украина

СОГЛАСОВАНИЕ РАБОТЫ АБСОРБЦИОННОГО ТЕМОТРАНСФОРМАТОРА С КОГЕНЕРАЦИОННЫМ ГАЗОПОРШНЕВЫМ МОДУЛЕМ УСТАНОВКИ АВТОНОМНОГО ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ

Выполнен анализ эффективности трансформации теплоты когенерационного модуля на базе газопоршневого двигателя в холод термотрансформатором абсорбционного типа. Выявлено наличие значительных потерь теплоты из-за несоответствия температурных условий эффективной работы термотрансформатора и когенерационного модуля. Предложено рециркуляционный контур обратного теплоносителя с бустерным газовым котлом для повышения температуры теплоносителя перед термотрансформатором.

Ключевые слова: газопоршневой двигатель, когенерационный модуль, абсорбционный термотрансформатор, тригенерация, теплоноситель.

1. Анализ проблемы и постановка цели исследования

Установки автономного энергообеспечения на базе газопоршневых двигателей (ГПД), использующие природный газ и альтернативные топлива [1–3], находят все более широкое применение. Ведущие двигателестроительные фирмы выпускают когенерационные модули – со штатными теплообменниками для получения горячей воды (водяного пара) за счет использования сбросной теплоты ГПД [1, 2]. Хотя когенерационные модули легко интегрируются в системы тепло- и хладоснабжения конкретных объектов, однако анализ энергетической эффективности таких тригенерационных систем показывает наличие потерь теплоты и обусловленной ими недодовыработки холода из-за несоответствия температурных условий эффективной работы термотрансформатора, чаще всего на базе абсорбционной бромистолитиевой холодильной машины (АБХМ), и когенерационного модуля.

Так, из условия поддержания теплового состояния ГПД, обеспечивающего его надежную эксплуатацию, температура обратной (охлажденной) воды, поступающей в когенерационную систему ГПД от АБХМ, ограничивается ее спецификационным значением $t_{\text{обр.сп}} = 70^\circ\text{C}$. При его превышении избыток теплоты сбрасывается в атмосферу, а при меньшей температуре обратной воды $t_{\text{обр}}$ к ней подмешивается часть горячей воды, которая выходит из когенерационного модуля.

Цель исследования – повышение эффективности трансформации теплоты ГПД в холод согласованием температурных режимов работы АБХМ с когенерационным модулем.

2. Изложение основного материала

Решение задачи повышения эффективности трансформации теплоты ГПД в холод рассматривалось на примере установки автономного электро, тепло- и холодообеспечения завода ООО «Сандора»–«Pepsico Ukraine» (Николаевская обл.). Проектирование и монтаж установки выполнены ЧНПП «СИНАПС»–«GE Energy» (г. Киев) и ООО «Хладотехника» (г. Николаев). Тригенерационная установка включает два когенерационных ГПД JMS 420 GS-N.LC GE Jenbacher (электрическая мощность одного ГПД 1400 кВт, тепловая мощность 1500 кВт), в котором теплота выпускных газов, наддувочной газозооной смеси (ГВС), охлаждающей рубашку двигателя воды и смазочного масла используется для нагрева воды. Теплота горячей воды трансформируется в АБХМ AR-D500L2 Century в холод (холодильная мощность 2000 кВт), который расходуется на технологические нужды и для работы центральных кондиционеров, охлаждающих воздух в машинном отделении (МО), из которого он поступает на всасывание турбокомпрессора (ТК) ГПД (рис. 1).

В соответствии со схемой на рис. 1 при температуре обратной (охлажденной) воды на выходе из АБХМ, например $t_{\text{обр}} = 75...80^\circ\text{C}$, т.е. выше ее спецификационного значения $t_{\text{обр.сп}} = 70^\circ\text{C}$ на входе в теплообменники ГПД, обеспечивающего оптимальное тепловое состояние ГПД, часть обратной воды охлаждается в охладителе обратного теплоносителя (ОТН) с отводом избыточной теплоты в атмосферу градирней 4. Возврат избыточной теплоты в АБХМ невозможен из-за ее пониженного температурного уровня, $t_{\text{обр}} = 75...80^\circ\text{C}$,

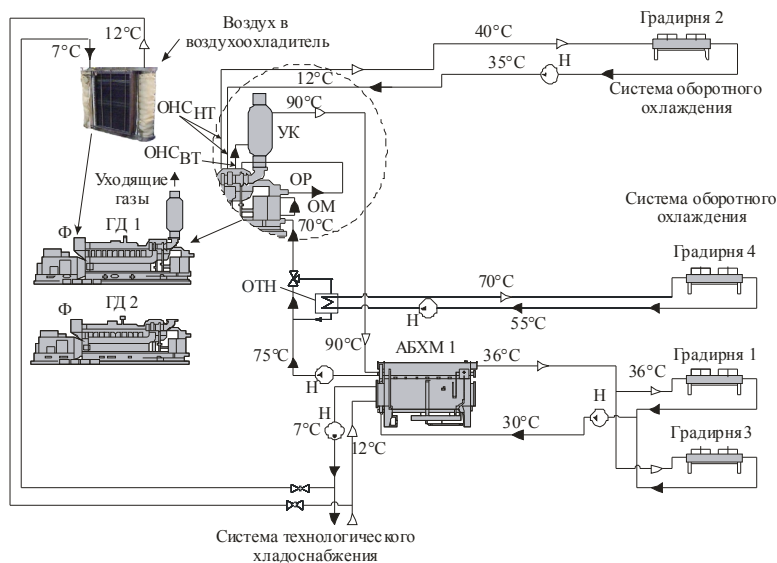


Рис. 1. Схема существующей системы трансформации теплоты когенерационного ГПД в холод в АБХМ: ОМ – охладитель масла; ОР – охладитель рубашки двигателя; ОНС_{нт} и ОНС_{вт} – низкотемпературная и высокотемпературная ступени охладителя наддувочной ГВС; УК – утилизирующий котел; ОТН – охладитель обратного теплоносителя; Ф – фильтр на всасывании турбокомпрессора; Н – насос

относительно спецификационной температуры горячего теплоносителя на входе АБХМ: $t_{т.сп} = 90...95\text{ }^\circ\text{C}$. Понижение же температуры горячего теплоносителя на входе АБХМ вызывает ухудшение эффективности трансформации тепла в холод – снижение теплового коэффициента ζ , представляющего собой отношение полученного холода к затратам тепла.

На рис. 2 приведены значения температуры горячей воды t_{w1} , поступающей из когенерационного модуля ГПД в АБХМ, обратной воды после АБХМ t_{w4} (перед охладителем ОНТ сброса избытка тепла в градирню) и охлажденной обратной воды после ОНТ на входе в ГПД, t_{w5} .

Эти данные получены в ходе автоматизированного мониторинга параметров тригенерационной установки (июль 2011).

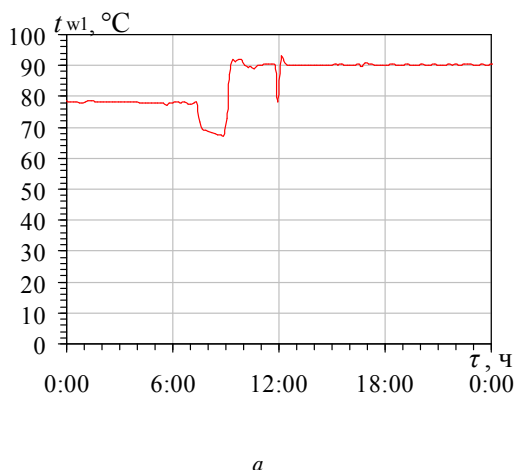
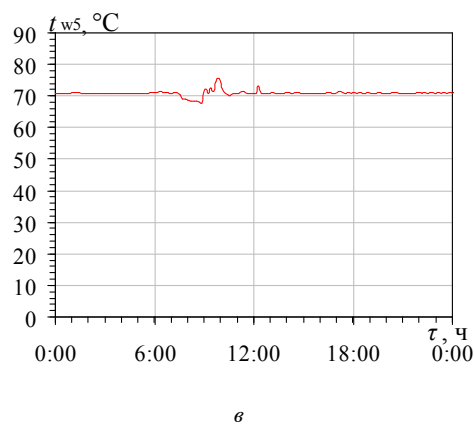
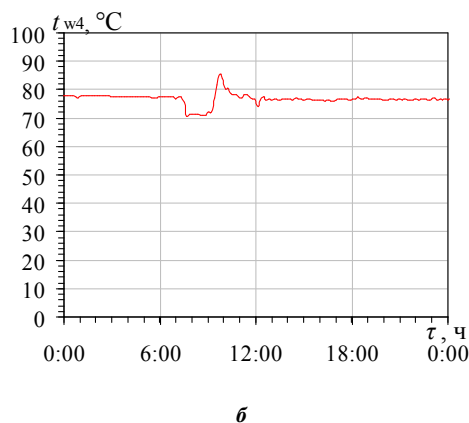


Рис. 2. Температуры горячей воды t_{w1} на входе АБХМ (а), обратной воды после АБХМ t_{w4} (б) и охлажденной обратной воды на входе в ГПД t_{w5} (в)

Рассчитанные по ним разности температур горячей и охлажденной в АБХМ воды, $t_{w1} - t_{w4}$, и

обратной воды в охладителе ОНТ, $t_{w4} - t_{w5}$, приведены на рис. 3.

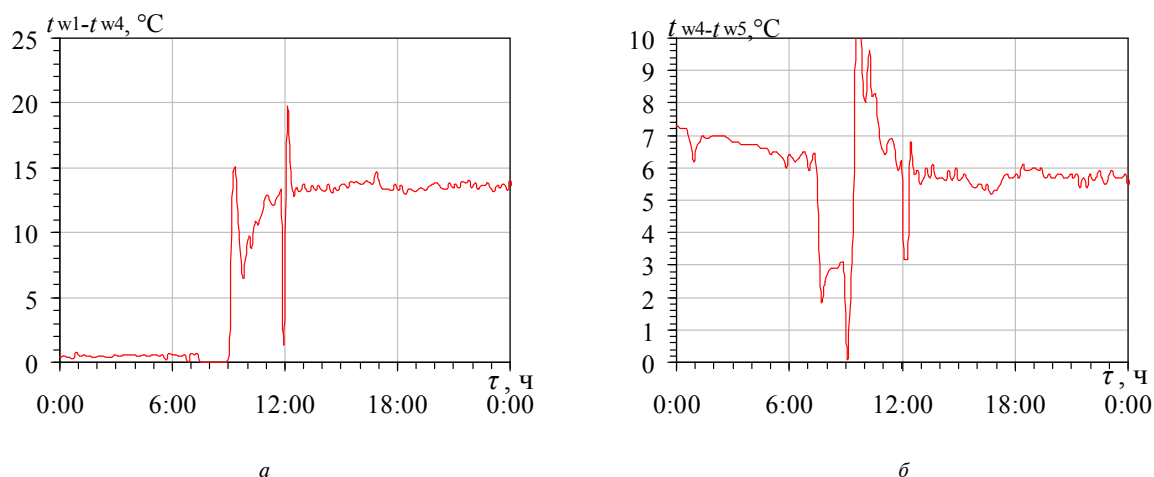


Рис.3. Разности температур горячей и охлажденной в АБХМ воды $t_{w1} - t_{w4}$ (а) и обратной воды в охладителе ОНТ $t_{w4} - t_{w5}$

Указанные данные использованы для оценки объемов избыточной теплоты, сбрасываемой в атмосферу, и обоснования целесообразности технических решений по ее возврату в цикл трансформации тепла и производства за его счет дополнительного холода.

Как видно, разности температур горячей и охлажденной в АБХМ воды $t_{w1} - t_{w4} = 14$ °С прак-

тически равны их спецификационному значению 14 °С. Однако снижение температуры обратной воды в охладителе сброса избыточной теплоты весьма существенно: $t_{w4} - t_{w5} \approx 5$ °С, что свидетельствует о значительных потерях теплоты $Q_{п}$ по сравнению с использованной в АБХМ $Q_{га}$ (рис. 4).

Как видно, доля теплоты $Q_{п}$, сбрасываемой в атмосферу из-за необходимости поддержания

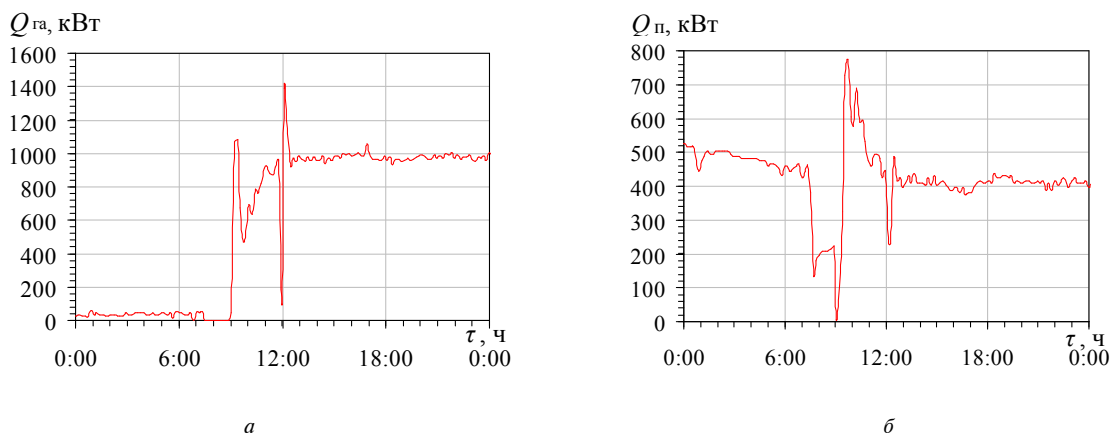


Рис. 4. Исползованная в АБХМ теплота $Q_{га}$ (а) и потери теплоты при сбросе в атмосферу $Q_{п}$ (б)

температуры обратной воды на входе когенерационного ГПД на уровне 70 °С, составляет 40% теплоты $Q_{га}$, полезно использованной в АБХМ, и практически треть тепловой мощности когенерационного модуля, равной их сумме: $Q_{га} + Q_{п} = 1400$ кВт.

Для того, чтобы исключить указанные потери тепла, можно нагреть обратный теплоноситель в газовом котле до 90 °С и подавать снова в АБХМ, т.е. ввести дополнительный рециркуляционный контур теплоносителя с котлом (рис. 5).

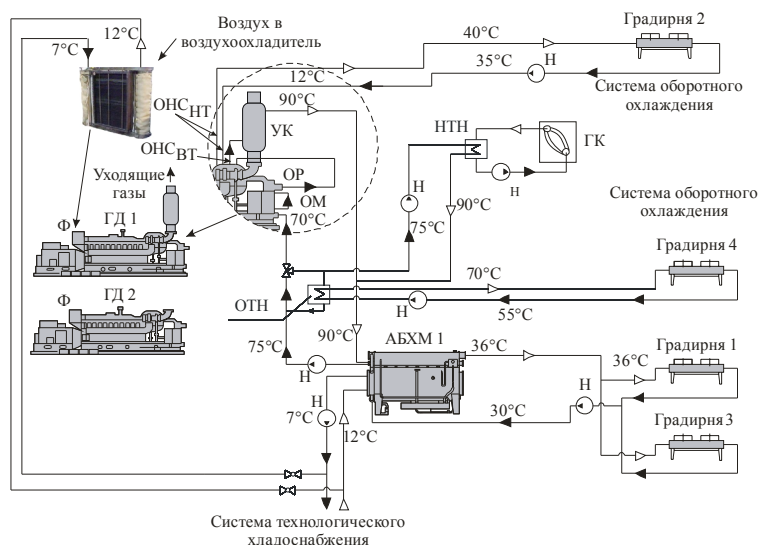
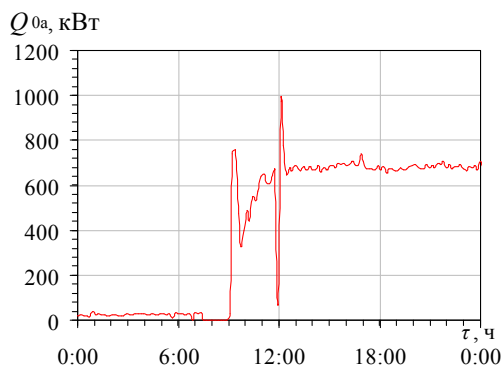


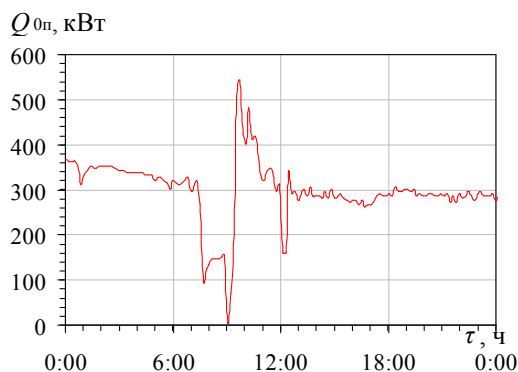
Рис. 5. Схема системы трансформации теплоты когенерационного ГПД в холод в АБХМ с рециркуляционным контуром теплоносителя и газовым котлом: ОМ – охладитель масла; ОР – охладитель рубашки двигателя; ОНС_{НТ} и ОНС_{ВТ} – низкотемпературная и высокотемпературная ступени охладителя наддувочной ГВС; УК – утилизирующий котел; ОТН – охладитель обратного теплоносителя; Ф – фильтр на всасывании турбокомпрессора; Н – насос; ГК – газовый котел

О количестве холода, получаемого в АБХМ за счет утилизации избыточной теплоты, обычно

сбрасываемой в атмосферу $Q_{п}$, можно судить по рис. 6.



а



б

Рис.6. Количество холода, получаемого в АБХМ существующей системы трансформации тепла, Q_{0a} (а) и дополнительное его количество $Q_{0п}$ за счет утилизации избыточной теплоты $Q_{п}$, сбрасываемой в атмосферу (б)

Как видно, за счет утилизации избыточной теплоты $Q_{п}$, ранее сбрасываемой в атмосферу, можно увеличить холодопроизводительность тригенерационной установки на величину $Q_{0п} = 300$ кВт, доводя холодильную мощность установки на базе одного ГПД до номинальной: $Q_{0a} + Q_{0п} = 1000$ кВт.

Следует отметить, что в рассмотренной тригенерационной установке применена одноступенчатая АБХМ, эффективность которой существенно снижается с понижением температуры теплоносителя на входе. Наиболее целесообразно решить проблемы сокращения до минимума потерь теплоты можно с помощью двухступенча-

той АБХМ, подавая обратный теплоноситель с температурой 75...80 °С во вторую, низкотемпературную, ступень АБХМ.

Выводы

Анализ эффективности трансформации теплоты когенерационного модуля на базе газопоршневого двигателя в холод термотрансформатором абсорбционного типа тригенерационной установки позволил выявить наличие значительных потерь теплоты из-за несоответствия температурных условий эффективной работы термотрансформатора и когенерационного модуля. Предложено рециркуляционный контур обратного теплоносителя с бустерным газовым котлом для повышения температуры теплоносителя

перед термотрансформатором, который обеспечивает значительное приращение холодопроизводительности.

Литература

1. Economic utilization of Biomass and Municipal Waste for power generation. Some energy lasts for generations. – GE Jenbacher Company Overview. – June 13, 2007. – 39 p.
2. Elsenbruch T. Jenbacher gas engines a variety of efficient applications / T.Elsenbruch [статья]. – Bucuresti, October 28, 2010. – 73p.
3. GTI Integrated Energy System for Buildings. Modular System Prototype/ G.Rouse, M. Czachorski, P. Bishop, J. Patel // GTI Project report 15357/65118: Gas Technology Institute (GTI). – January 2006. – 495 p.

Поступила в редакцию 01.06.2012

**А.М. Радченко, А.В. Коновалов, М.І. Радченко, О.В. Остапенко, О.С. Манілов.
Узгодження роботи абсорбційного термотрансформатора з когенераційним газопоршневим модулем установки автономного енергозабезпечення**

Виконано аналіз ефективності трансформації теплоти когенераційного модуля на базі газопоршневого двигуна в холод термотрансформатором абсорбційного типу. Виявлено наявність значних втрат теплоти через невідповідність температурних умов ефективної роботи термотрансформатора та когенераційного модуля. Запропоновано рециркуляційний контур зворотного теплоносія з бустерним газовим котлом для підвищення температури теплоносія перед термотрансформатором.

Ключові слова: газопоршневий двигун, когенераційний модуль, абсорбційний термотрансформатор, тригенерація, теплоносії.

**A.N. Radchenko, A.V. Konovalov, N.I. Radchenko, A.V. Ostapenko, A.S. Manilov.
Matching performance of absorption thermotransformer and cogeneration reciprocating gas engine module in integrated energy system**

The efficiency of transforming the heat from cogeneration reciprocating gas engine module into a cold by absorption thermotransformer is analyzed. A large heat losses caused by not adequate temperature conditions for efficient performance of thermotransformer and cogeneration module are found. The recirculation contour of return hot water with buster gas boiler to rise the temperature of return hot water before the thermotransformer has been proposed.

Key words: reciprocating gas engine, cogeneration module, absorption thermotransformer, trigeneration, supply hot water.