

УДК 621.57

Р. Н. РАДЧЕНКО, А. В. ОСТАПЕНКО, А. А. ЛЕХМУС

Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова, Украина

УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ КОГЕНЕРАЦИОННЫЙ ГАЗОПОРШНЕВОЙ МОДУЛЬ ТРИГЕНЕРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ АВТОНОМНОГО ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ

Проанализирована эффективность тригенерационной установки на базе когенерационных газопоршневых модулей JMS GE Jenbacher для автономного энергообеспечения завода ООО "Сандора"–"Pepsico Ukraine" (Николаевская обл.). Предложена усовершенствованная двухпоточная система подачи обратного теплоносителя в когенерационные модули двигателей: с температурой выше 70 °С непосредственно в утилизационный котел, а с температурой 70 °С и ниже – к узлам охлаждения двигателя, что обеспечивает возрастание коэффициента трансформации тепла и холодопроизводительности на 10...12 % по сравнению с традиционной однопоточной.

Ключевые слова: тригенерация, трансформация тепла, когенерационный газопоршневой двигатель, абсорбционная холодильная машина.

1. Анализ проблемы и постановка цели исследования

В установках автономного электро-, тепло- и холодообеспечения все большее распространение находят газопоршневые двигатели (ГПД) [1, 2]. Обычно такие ГПД выпускают в когенерационном исполнении – в виде когенерационных модулей, включающих штатные теплообменники, в которых теплота, отводимая от выпускных газов, газовоздушной смеси (ГВС), смазочного масла и корпуса двигателя, используется для нагрева воды (теплоносителя). Теплота горячей воды с температурой примерно 90 °С трансформируется в холод абсорбционной бромистолитиевой холодильной машиной (АБХМ) [3, 4]. При этом ее температура снижается не более чем на 10...15 °С, в результате чего температура обратного теплоносителя от АБХМ составляет 75 °С и выше. В то же время для поддержания термического состояния ГПД на безопасном уровне температура обратного теплоносителя, поступающего в теплообменники отвода теплоты от корпуса двигателя, должна быть не выше 70 °С. Избыток теплоты сбрасывается в атмосферу градирней аварийного сброса. Эти потери $Q_{г.п}$ весьма значительные, и их уменьшение обеспечивало бы увеличение выработки холода.

Цель исследования – совершенствование системы трансформации теплоты когенерационного ГПД тригенерационной установки автономного энергообеспечения путем сокращения потерь теплоты обратного теплоносителя.

2. Результаты исследования

При разработке усовершенствованной системы трансформации тепла когенерационного ГПД использованы данные эксплуатации первой на Украине 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), АБХМ AR-D500L2 Century (холодопроизводительностью 2000 кВт) и два центральных кондиционера SIC Jan HREBEC 1LG4223-8AB60 (холодопроизводительностью по 350 кВт и объемным расходом воздуха по 60000 м³/ч). Отвод теплоты от воды, охлаждающей ГВС ГПД и АБХМ, осуществляется системами оборотного охлаждения с градирнями типа Еварсо.

Теплота, отведенная от выпускных газов ГПД в утилизационном котле (УК), ГВС в высокотемпературной ступени охладителя наддувочной смеси (ОНВ_{ВТ}), от охлаждающей воды рубашки двигателя и смазочного масла, используется в АБХМ для производства холода в виде холодной воды с температурой $t_x = 7...10$ °С. Теплопроизводительность установки 1500 кВт. Расход горячей воды 64,7 м³/ч. Расход охлаждающей воды через ОНВ_{ВТ} 20 м³/ч.

Из-за потерь теплоты $Q_{г.п}$ имеет место значительная недовыработка холода. Обратный теплоноситель целесообразно подводить двумя потоками: к

узлам охлаждения когенерационного модуля ГПД при пониженной температуре $t = 70\text{ }^\circ\text{C}$ на входе, обеспечивая поддержание термического состояния ГПД на безопасном уровне, а к УК – при более высоких температурах $t = 75\text{...}80\text{ }^\circ\text{C}$ на выходе из АБХМ, минуя узлы охлаждения (рис. 1).

Значения суммарного (общего) количества теплоты горячего теплоносителя, который выходит из базового $Q_{г.с(90)}$ и модифицированного двухпоточного $Q_{г.с(93)}$ когенерационных модулей ГПД (двух JMS 420 GS) с температурой соответственно $t_{г.вых} = 90$ и $93\text{ }^\circ\text{C}$, а возвращается в базовый модуль одним потоком при температуре $t_{г.вх} = 70\text{ }^\circ\text{C}$, а в модифи-

цированном – двумя потоками (рис. 1): например, 70 % общего расхода обратного теплоносителя подают на вход когенерационного модуля ГПД (в узлы охлаждения) при $t_{г.вх} = 70\text{ }^\circ\text{C}$, а 30 % его общего расхода направляют прямо в УК при температуре выше $t_{г.вхУК} = 75\text{ }^\circ\text{C}$; теплоты, трансформированной в холод в АБХМ базового $Q_{г.А(90)}$ и модифицированного двухпоточного $Q_{г.А(93)}$ когенерационных модулей ГПД, а также потерь теплоты горячего теплоносителя, что сбрасываются в атмосферу градирней аварийного сброса $Q_{гп(90)}$ и $Q_{гп(93)}$ в обоих вариантах, приведены на рис. 2.

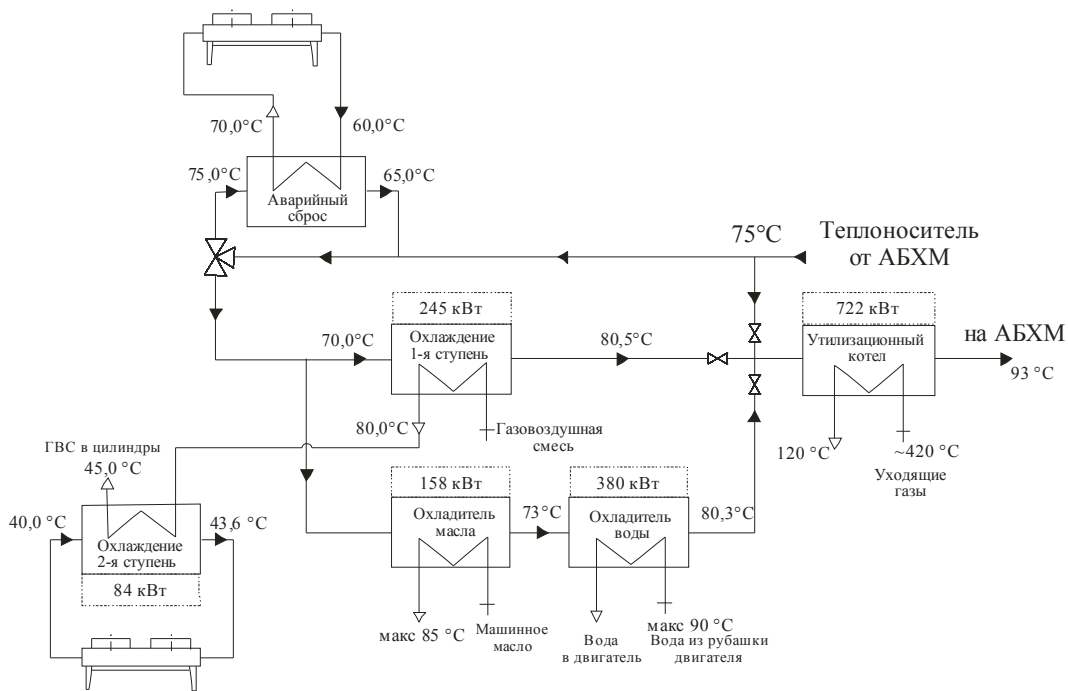


Рис. 1. Схема системы трансформации теплоты усовершенствованного когенерационного модуля ГПД JMS 420 GS с подводом обратного теплоносителя двумя потоками с разными температурами

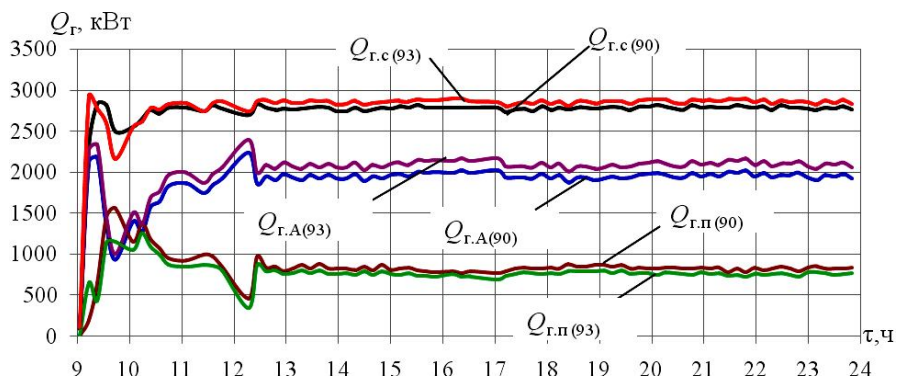


Рис. 2. Значения суммарного количества теплоты горячего теплоносителя от базового $Q_{г.с(90)}$ и модифицированного двухпоточного $Q_{г.с(93)}$ когенерационных модулей ГПД (двух JMS 420 GS), теплоты, трансформированной в холод в АБХМ базового $Q_{г.А(90)}$ и модифицированного $Q_{г.А(93)}$ когенерационных модулей ГПД, и потерь теплоты горячего теплоносителя $Q_{гп(90)}$ и $Q_{гп(93)}$, что сбрасываются в атмосферу градирней: $Q_{г.с(90)}$, $Q_{г.А(90)}$ и $Q_{гп(90)}$ – при $t_{г.вых} = 90\text{ }^\circ\text{C}$ ($t_{г.вх} = 70\text{ }^\circ\text{C}$); $Q_{г.с(93)}$, $Q_{г.А(93)}$ и $Q_{гп(93)}$ – при $t_{г.вых} = 93\text{ }^\circ\text{C}$ ($t_{г.вхУК} = 78\text{ }^\circ\text{C}$)

Благодаря более высокой температуре горячего теплоносителя на выходе из двухпоточного когенерационного модуля ГПД $t_{г.вых} = 93\text{ }^{\circ}\text{C}$ по сравнению с базовой $t_{г.вых} = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ возрастают тепловой коэффициент АБХМ $\zeta_{АБХМ(93)}$ и, следовательно, количество теплоты, трансформированной в холод в АБХМ: $Q_{г.А(93)} > Q_{г.А(90)}$ (рис. 4). При этом потери теплоты, наоборот, сокращаются: $Q_{г.п(93)} < Q_{г.п(90)}$, поскольку только от части теплоносителя (70 % общего расхода), отводят тепло в атмосферу градирней, чтобы поддерживать его температуру на входе узлов охлаждения ГПД не выше $t_{г.вх} = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Значения тепловых коэффициентов системы утилизации сбросной теплоты базового $\zeta_{СУАб(90)}$ и модифицированного двухпоточного $\zeta_{СУАб(93)}$ коге-

нерационных модулей ГПД JMS 420 GS, а также АБХМ обоих вариантов: $\zeta_{АБХМ(90)}$ и $\zeta_{АБХМ(93)}$ приведены на рис. 3.

Как видно из рис. 3, модификация существующего когенерационного модуля ГПД путем подачи части обратного теплоносителя с температурой выше $t_{г.вхУК} = 75\text{ }^{\circ}\text{C}$ непосредственно в УК с получением на выходе ГПД нагретого теплоносителя с температурой $t_{г.вых} = 93\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 1) обеспечивает возрастание $\zeta_{СУАб(93)}$ по сравнению с $\zeta_{СУАб(90)}$ базового варианта примерно на 10 %.

О соотношении холодопроизводительностей базовой однопоточной $Q_{0(90)}$ и предложенной двухпоточной $Q_{0(93)}$ систем трансформации теплоты можно судить по рис. 4.

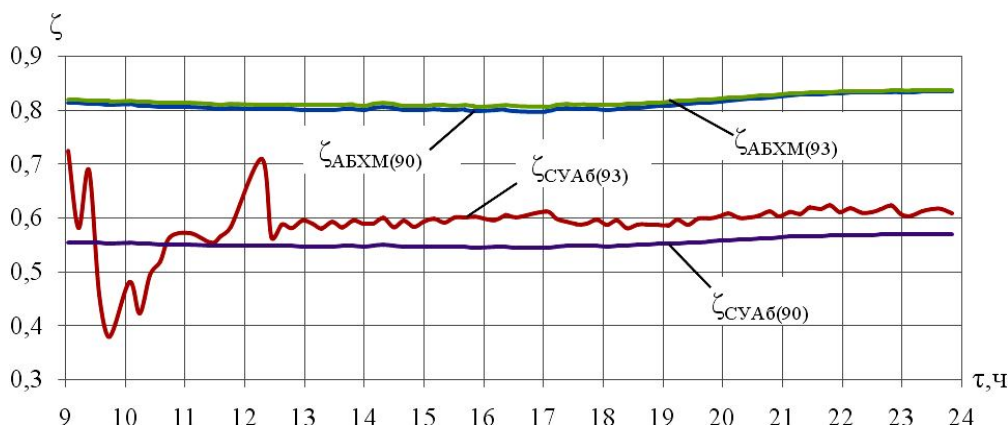


Рис. 3. Значения тепловых коэффициентов системы утилизации сбросной теплоты базового $\zeta_{СУАб(90)}$ и модифицированного двухпоточного $\zeta_{СУАб(93)}$ когенерационных модулей ГПД JMS 420 GS, а также АБХМ обоих вариантов $\zeta_{АБХМ(90)}$ и $\zeta_{АБХМ(93)}$: $\zeta_{СУАб(90)}$ и $\zeta_{АБХМ(90)}$ — при $t_{г.вых} = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($t_{г.вх} = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$); $\zeta_{СУАб(93)}$ и $\zeta_{АБХМ(93)}$ — при $t_{г.вых} = 93\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($t_{г.вхУК} = 78\text{ }^{\circ}\text{C}$)

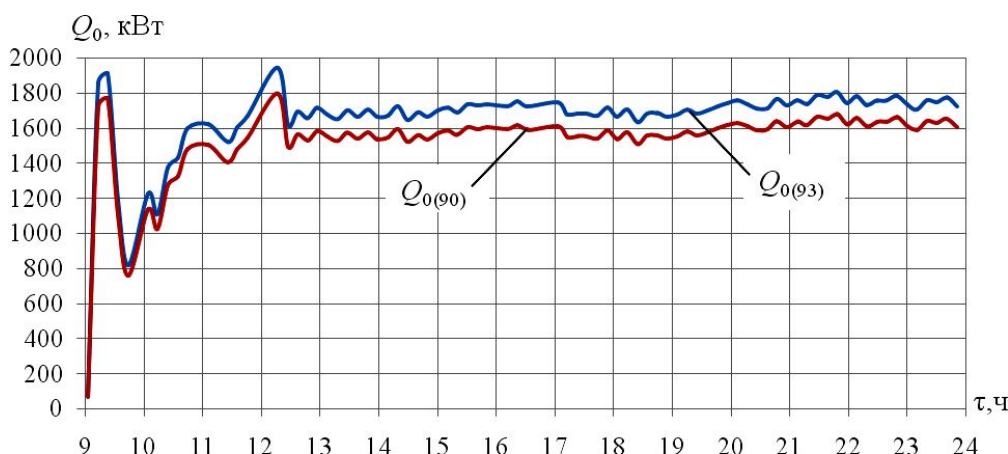


Рис. 4. Значения холодопроизводительности традиционной однопоточной $Q_{0(90)}$ и двухпоточной $Q_{0(93)}$ систем трансформации тепла когенерационных модулей ГПД (двух JMS 420 GS): $Q_{0(90)}$ — при $t_{г.вых} = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($t_{г.вх} = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$); $Q_{0(93)}$ — при $t_{г.вых} = 93\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($t_{г.вхУК} = 78\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Как видно, холодопроизводительность двухпоточной системы трансформации тепла $Q_{0(93)}$ когенерационного модуля ГПД (на базе двух JMS 420 GS) возрастает примерно на 12 % по сравнению с базовой однопоточной $Q_{0(90)}$.

Выводы

Предложена усовершенствованная двухпоточная система подачи обратного теплоносителя в ГПД: с температурой выше 70 °С непосредственно в УК, а с температурой 70 °С и ниже – к узлам охлаждения ГПД, что обеспечивает возрастание коэффициента трансформации тепла и холодопроизводительности на 10...12 % по сравнению с традиционной однопоточной.

Литература

1. Elsenbruch, T. *Jenbacher gas engines a variety of efficient applications [Text] / T. Elsenbruch. – București, October 28, 2010. – 73 p.*
2. *GTI Integrated Energy System for Buildings. Modular System Prototype [Text] / G. Rouse, M. Czachorski, P. Bishop, J. Patel // GTI Project report 15357/65118: Gas Technology Institute (GTI). – January 2006. – 495 p.*
3. Рыжков, С. С. *Тригенерационная установка автономного энергообеспечения [Текст] / С. С. Рыжков, Н. И. Радченко, С. Г. Фордуй // Авиационно-космическая техника и технология. – 2012. – № 10(97). – С. 55–60.*
4. Radchenko, N. *Trigeneration plant for combined energy supply [Text] / N. Radchenko, S. Ryzkov, S. Forduy // Proceedings of the 14 International Symposium on Heat Transfer and Renewable Sources of Energy: HTRSE-2012. – Szczecin, Poland, 2012. – P. 503–508.*

Поступила в редакцию 20.01.2015, рассмотрена на редколлегии 20.03.2015

ВДОСКОНАЛЕНИЙ КОГЕНЕРАЦІЙНИЙ ГАЗОПОРШНЕВИЙ МОДУЛЬ ТРИГЕНЕРАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ АУТОНОМНОГО ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Р. М. Радченко, О. В. Остапенко, О. О. Лехмус

Проаналізовано ефективність тригенерационної установки на базі когенерационних газопоршневих модулів JMS GE Jenbacher автономного енергозабезпечення заводу ТОВ "Сандора"–"Pepsico Ukraine" (Миколаївська обл.). Запропоновано вдосконалену двопоточну систему подачі зворотного теплоносія в когенерационні модулі двигунів: з температурою вище 70 °С безпосередньо в утилізаційний котел, а з температурою 70 °С та нижче – до вузлів охолодження двигуна, що забезпечує зростання коефіцієнта трансформації тепла та холодопродуктивності на 10...12 % порівняно з традиційною однопоточною.

Ключові слова: тригенерація, трансформація тепла, когенерационний газопоршневий двигун, абсорбційна холодильна машина.

IMPROVED COGENERATION RECIPROCATING GAS ENGINE MODULE OF TRIGENERATION PLANT FOR INTEGRATED ENERGY SUPPLY

R. N. Radchenko, A. V. Ostapenko, A. A. Lehmus

The efficiency of trigeneration plant on the base of cogeneration reciprocating gas engine modules JMS GE Jenbacher of integrated energy system for factory "Sandora"–"Pepsico Ukraine" (Nikolayev region) was analyzed. The improved two-streams system of return heat flow to the cogeneration engine modules: with temperature higher 70 °C to waste heat recovery boiler and with temperature of 70 °C and lower – to cooling nodes of engine has been proposed, that provides increasing the coefficient of performance and refrigeration capacity by 10...12 % compared with traditional one-stream variant.

Key words: trigeneration, transformation of heat, cogeneration reciprocating gas engine module, absorption chiller.

Радченко Роман Николаевич – канд. техн. наук, ст. науч. сотр., Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова, Николаев, Украина, e-mail: andrad69@mail.ru.

Остапенко Алексей Валерьевич – аспирант, Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова, Николаев, Украина, e-mail: andrad69@mail.ru.

Лехмус Александр Афанасьевич – канд. техн. наук, доц., доц. кафедры кондиционирования и рефрижерации, Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова, Николаев, Украина, e-mail: andrad69@mail.ru.