

УДК 621.57

А.Н. РАДЧЕНКО, А.В. КОНОВАЛОВ

*Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова, Украина*

## ОХЛАЖДЕНИЕ ПРИТОЧНОГО ВОЗДУХА МАШИННОГО ОТДЕЛЕНИЯ ГАЗОПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ УСТАНОВКИ АВТОНОМНОГО ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ

*Проанализирована эффективность охлаждения приточного воздуха машинного отделения когенерационных газопоршневых модулей установки автономного энергообеспечения. По результатам мониторинга параметров газопоршневых двигателей установлено влияние температуры воздуха на входе двигателей на их топливную эффективность, выявлены резервы совершенствования системы охлаждения. Предложены способы зональной подачи охлажденного приточного воздуха отдельными воздуховодами, позволяющие сократить продолжительность работы двигателей на долевых режимах или исключить их вообще и уменьшить за счет этого удельное потребление газа.*

**Ключевые слова:** газопоршневой двигатель, расход газа, охлаждение, приточный воздух, кондиционер.

### Анализ проблемы и постановка цели исследования

Топливная экономичность установок автономного энергообеспечения, в частности, на базе когенерационных газопоршневых модулей [1 – 3], зависит от температуры воздуха на входе газопоршневых двигателей (ГПД) и снижается с ее повышением. Поэтому в теплое время температура воздуха в машинном отделении (МО) должна поддерживаться как можно более низкой. Для установок автономного электро-, тепло- и холодообеспечения (тригенерация) традиционной является система охлаждения всего приточного воздуха в центральных кондиционерах, холод для которых вырабатывается абсорбционной бромистолитиевой холодильной машиной (АБХМ) и из которых воздух поступает в МО, а уже оттуда через приемные фильтры – во всасывающие воздуховоды ГПД и после смешивания с топливным газом их газоздушная смесь (ГВС) сжимается наддувочными турбокомпрессорами (ТК) ГПД [2, 3]. Большие объемы приточного воздуха МО обусловлены требуемой кратностью воздухообмена, обеспечивающей удаление тепловлаговывделений от ГПД и компенсацию теплопритоков через стены и окна МО. Большие затраты холодопроизводительности на охлаждение всей массы приточного воздуха ограничивают снижение его температуры в кондиционере разностью температур 10...15 °С, чего с учетом нагрева охлажденного воздуха с воздухом МО недостаточно для поддержания оптимальных температур на входе ТК ГПД.

С учетом того, что температура холодоносителя (охлажденной в АБХМ воды) не ниже 7 °С, да

еще наличия разности температур 8...10 °С в воздухоохладителе кондиционера между охлаждаемым воздухом и холодоносителем, обусловленной интенсивностью теплообмена, температура охлажденного воздуха никогда не будет ниже 15 °С, что снимает вопросы температурного ограничения по воздуху на входе ТК исходя из механической прочности цилиндропоршневой группы (не ниже 5...10 °С) при высоких давлениях в цилиндрах, в свою очередь, зависящих от давления нагнетания. Последние определяют безопасную работу двигателей внутреннего сгорания при отрицательных наружных температурах и решаются чаще всего нагревом приточного воздуха (соответствующим сокращением его массового расхода), в частности, перепуском части наддувочного воздуха на всасывание ТК или же байпасом части выпускных газов турбины ТК.

Система вентиляции МО должна обеспечивать надежный теплоотвод от цилиндрического блока ГПД как источника наиболее интенсивного тепловыделения. При подаче воздуха в МО непосредственно из выпускного диффузора кондиционера теряется напор, создаваемый вентилятором кондиционера, из-за смешивания охлажденного приточного воздуха с воздухом МО, что ухудшает циркуляцию воздуха в зонах интенсивного тепловыделения.

**Цель исследования** – повышение эффективности охлаждения воздуха на входе ГПД соответствующей организацией его подачи в МО.

### Результаты исследования

Решение задачи повышения эффективности охлаждения воздуха на входе ГПД и организации по-

дачи приточного воздуха в зоны МО с интенсивным тепловыделением рассмотрено на примере тригенерационной 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 газопоршневых двигателя (ГПД) JMS 420 GS-N.LC GE Jenbacher (электрическая мощность одного ГПД 1400 кВт, тепловая мощность 1500 кВт), сбросная теплота которых используется в АБХМ для производства холода на технологические нужды и для двух центральных кондиционеров холодопроизводительностью по 350 кВт (объемным расходом воздуха по 60000 м<sup>3</sup>/ч каждый), обеспечивающих охлаждение воздуха в МО, из которого воздух поступает на всасывание ТК ГПД (рис. 1).

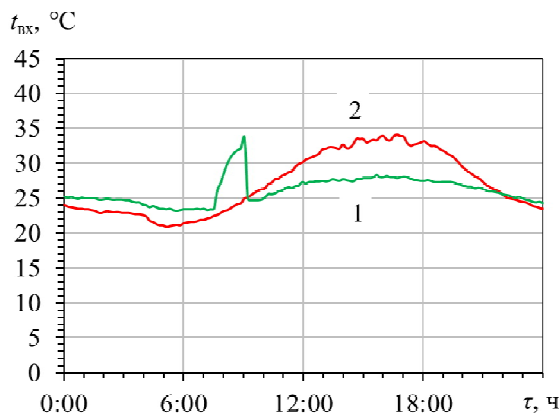


Рис. 1. Теплоиспользующий центральный кондиционер охлаждения приточного воздуха машинного отделения

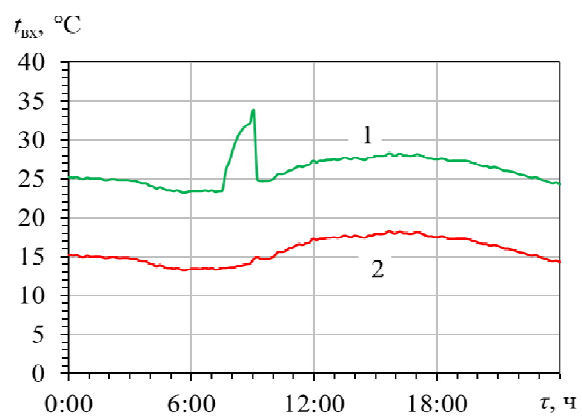
Ниже приведены результаты обработки данных по температурам наружного воздуха  $t_{нв}$  и воздуха на всасывании ТК  $t_{вх}$  – во всасывающем тракте ТК ГПД после фильтра (рис. 2), объемному расходу газа  $V_e$  и электрической мощности  $N_e$  (рис. 3) и удельному объемному расходу газа  $b_e$  (рис. 4) в течение суток (1.07.2011), полученных в ходе мониторинга параметров ГПД.

Из рис. 2,а видно, что при подаче охлажденного в кондиционерах воздуха из выходных диффузоров непосредственно в МО (рис. 1) температура воздуха  $t_{вх}$  на входе ТК ГПД довольно высокая (25...28 °С) и ниже температуры наружного воздуха  $t_{нв}$  не более чем на 5 °С:  $t_{нв} - t_{вх} = t_2 - t_1 = 3...5$  °С. При уменьшении (прекращении) подачи хладоносителя от АБХМ на кондиционеры ( $\tau = 8...10$  ч на рис. 2,а), к чему прибегают в случае, когда требуется повышенный расход холода на технологические нужды, температура воздуха  $t_{вх}(t_1)$  на входе ТК ГПД резко возрастает, превышая  $t_{нв}(t_2)$  на 5...10 °С.

Исключение непроизводительных затрат холода, обусловленных теплотой, вносимой в охлажденный в кондиционерах воздух при его смешивании с воздухом МО, позволяло бы получать на всасывании ТК воздух с температурой  $t_{вх.вв}(t_2)$  на 8...10 °С ниже той, которая имеет место при подаче охлажденного воздуха непосредственно в МО, откуда уже – на всасывание ТК ГПД, т.е. ниже  $t_{вх}(t_1)$  на рис. 2,б. Таким образом, подача охлажденного воздуха к фильтру на всасывании ТК ГПД отдельным воздухопроводом позволяла бы поддерживать температуру воздуха на уровне 15...20 °С вместо 25...30 °С (рис. 2,б).



а



б

Рис. 2. Изменение температуры воздуха на входе ТК ГПД (после фильтра)  $t_{вх}$  в течение суток (1.07.2011) при разных способах его подачи:

- а – подача воздуха из кондиционера в МО: 1 –  $t_{вх}$  (воздух на входе ТК ГПД); 2 –  $t_{нв}$  (наружный воздух);
- б – подача воздуха из кондиционера в МО и воздухопроводом к ТК ГПД: 1 –  $t_{вх}$  (воздух на входе ТК ГПД при его подаче из МО); 2 –  $t_{вх.вв}$  (воздух на входе ТК ГПД при его подаче из кондиционера воздухопроводом)

Негативные последствия повышенных температур воздуха в зонах интенсивного тепловыделения от ГПД (цилиндрического блока) и на входе ТК  $t_{вх}$  рассмотрим соответственно в двух аспектах. Во-первых, высокие температуры воздуха и

соответствующие сокращение теплоотвода от цилиндрического блока и, как следствие, резкое повышение его температуры до опасного уровня могут вызвать аварийное выключение ГПД:  $\tau = 8...10$  ч на рис. 3.

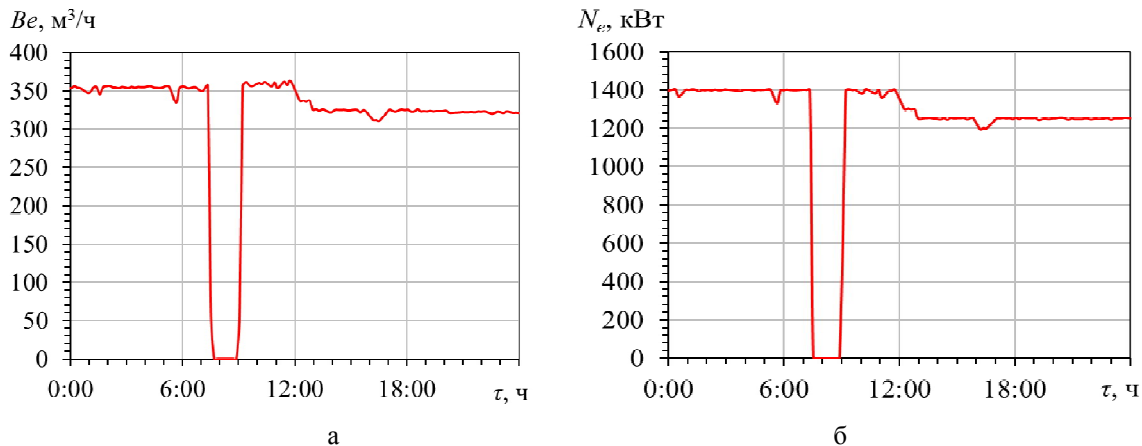


Рис. 3. Изменение объемного расхода газа  $b_e$  (а) и электрической мощности  $N_e$  ГПД (б) в течение суток (1.07.2011)

Во-вторых, вследствие повышенных температур воздуха на входе ТК  $t_{вх}$  и, соответственно, ГВС после ТК, возрастают тепловые нагрузки на низкотемпературную ступень охладителя наддувочной смеси ОНС<sub>нт</sub>, которая должна обеспечивать температуру ГВС во впускном ресивере ГПД на уровне  $t_{нс} \approx 40$  °С и от которой теплота отводится системой оборотного охлаждения с градирнями сухого типа. При повышенных температурах наружного воздуха  $t_{нв}$  на входе в градирни система оборотного охлаждения ГВС не справляется с задачей охлаждения ГВС до  $t_{нс} \approx 40$  °С. Поэтому система автоматического регулирования (САР) сокращает подачу газа и ГПД переходит на долевые режимы работы:  $\tau = 12...24$  ч на рис. 3, что позволяет удерживать температуру ГВС во впускном ресивере ГПД на уровне  $t_{нс} \approx 40$  °С.

Эксплуатация ГПД на частичных нагрузках сопровождается возрастанием удельного расхода газа  $b_e$  примерно на  $5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 / (\text{кВт} \cdot \text{ч})$ , т.е. на 2 % по сравнению с работой ГПД на полной нагрузке при температурах  $t_{вх}$  ниже 25 °С ( $\tau = 0...7$  ч, рис. 4). Уйти от работы ГПД на долевых режимах (на участке  $\tau = 12...24$  ч, рис. 3) и тем самым сократить  $b_e$  за счет большего снижения температуры воздуха на входе ТК, соответствующего уменьшения тепловой нагрузки на ОНС<sub>нт</sub> и сохранения температуры ГВС во впускном ресивере ГПД на уровне  $t_{нс} \approx 40$  °С можно его подводом воздухопроводами к приемному фильтру на всасывании ТК (рис. 5).

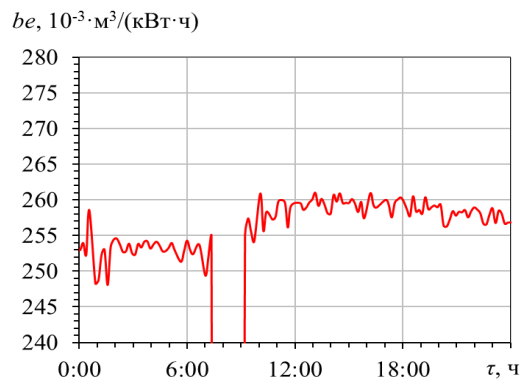


Рис. 4. Изменение удельного объемного расхода газа  $b_e$  при изменении температуры воздуха на всасывании ТК  $t_{вх}$  в соответствии с рис. 2



Рис. 5. Подача воздуха к приемному фильтру ГПД

Зональная подача воздуха позволяет сократить его расходы в 2,5 раза, благодаря чему обеспечить глубокое его охлаждение в кондиционере до температуры 15...20 °С (при температурах холодоносителя  $t_x = 7...12$  °С) против 25...30 °С при традиционном способе подачи воздуха в МО.

Второй кондиционер можно задействовать для вентиляции приточным неохлажденным воздухом зон интенсивного тепловыделения (блока цилиндров ГПД) с подачей его отдельными воздуховодами, что обеспечивает за счет создаваемого вентилятором кондиционера напора интенсивную циркуляцию воздуха в этих зонах. Оптимальное решение задачи – применение двухканальных кондиционеров.

### Выводы

В результате анализа эффективности охлаждения приточного воздуха МО когенерационных ГПД

установлено влияние температуры воздуха на входе двигателей на их топливную эффективность. Предложена зональная подача охлажденного приточного воздуха отдельными воздуховодами, которая позволяет сократить удельное потребление газа.

### Литература

1. *Economic utilization of Biomass and Municipal Waste for power generation. Some energy lasts for generations [Text]. – GE Jenbacher Company Overview. – June 13, 2007. – 39 p.*

2. *Elsenbruch, T. Jenbacher gas engines a variety of efficient applications [Text]/ T. Elsenbruch. – Bucur- ești, October 28, 2010. – 73 p.*

3. *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.*

Поступила в редакцию 18.05.2012

**Рецензент:** д-р техн. наук, профессор В.И. Живица, Одесская национальная морская академия, Одесса, Украина,

## ОХОЛОЖДЕННЯ ПРИТОЧНОГО ПОВІТРЯ МАШИННОГО ВІДДІЛЕННЯ ГАЗОПОРШНЕВИХ ДВИГУНІВ УСТАНОВКИ АУТОНОМНОГО ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

*А.М. Радченко, А.В. Коновалов*

Проаналізовано ефективність охолодження приточного повітря машинного відділення когенераційних газопоршневих модулів установки автономного енергозабезпечення. За результатами моніторингу параметрів газопоршневих двигунів встановлено вплив температури повітря на вході двигунів на їхню паливну ефективність, виявлені резерви вдосконалення системи охолодження. Запропоновані способи зональної подачі охолодженого приточного повітря окремими повітроводами, що дозволяють скоротити тривалість роботи двигунів на часткових режимах або вилучити їх взагалі та зменшити за рахунок цього питоме споживання газу.

**Ключові слова:** газопоршневий двигун, витрата газу, охолодження, приточне повітря, кондиціонер.

## COOLING THE INTAKE AIR TO THE ENGINE ROOM FOR RECIPROCATING GAS ENGINES IN INTEGRATED ENERGY SYSTEM

*A.N. Radchenko, A.V. Konovalov*

The efficiency of cooling the intake air to the engine room for cogeneration reciprocating gas engine modules of integrated energy system is analyzed. On the results of monitoring the parameters of reciprocating gas engines the influence of engine intake air temperature upon their fuel efficiency is settled, the reserves of improving the cooling system are defined. The methods of zone cooled intake air supply by separate air ducting is proposed, that allows to reduce the time of engine running at partial loads or to exclude them at all and decrease a specific fuel consumption as a result.

**Key words:** reciprocating gas engine, gas consumption, cooling, intake air, conditioner.

**Радченко Андрей Николаевич** – канд. техн. наук, ст. научн. сотрудник Национального университета кораблестроения им. адмирала Макарова, Николаев, Украина, e-mail: andrad69@mail.ru.

**Коновалов Андрей Викторович** – аспирант Национального университета кораблестроения им. адмирала Макарова, г. Николаев, Украина, e-mail: konovalov.ava@gmail.com.