

УДК 621.432/.433.068.1:621.565.9

doi: 10.32620/aktt.2018.6.06

А. Н. РАДЧЕНКО, А. А. ЗУБАРЕВ, А. В. ОСТАПЕНКО, А. В. ГРИЧ

Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова, Украина

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОТЫ ГАЗОВОГО ДВИГАТЕЛЯ СТУПЕНЧАТОЙ ТРАНСФОРМАЦИЕЙ

Выполнен анализ эффективности утилизации теплоты когенерационного модуля газопоршневого двигателя с получением холода абсорбционной бромистолитиевой холодильной машиной в установке автономного электро-, тепло- и холодообеспечения. Выявлено наличие значительных потерь теплоты, которые составляют около 30 % всей теплоты, отводимой от когенерационного газопоршневого модуля и обусловлены несогласованностью режимов совместной работы абсорбционной бромистолитиевой холодильной машины и газопоршневого двигателя. Эта несогласованность вызвана противоречивыми условиями их эффективной эксплуатации по температуре обратного теплоносителя на выходе из абсорбционной бромистолитиевой холодильной машины и на входе в систему охлаждения двигателя. Термический состояние газопоршневого двигателя обеспечивается поддержанием температуры обратного (охлажденного) теплоносителя на входе в него не выше 70 °С. В то же время при трансформации теплоты теплоносителя в холод в абсорбционной бромистолитиевой холодильной машине снижение его температуры в машине составляет не более чем 10...15 °С, то есть до 75...80 °С, при температуре теплоносителя на выходе из когенерационного газопоршневого модуля (на входе абсорбционной бромистолитиевой холодильной машины) 90 °С. Из-за противоречивых требований по эффективной работе газопоршневого двигателя и абсорбционной бромистолитиевой холодильной машины по температуре теплоносителя для поддержания температуры обратного теплоносителя на входе двигателя на безопасном уровне 70 °С он дополнительно охлаждается в градирне "аварийного сброса". Исследовано применение ступенчатой трансформации теплоты в холод с использованием эжекторной и абсорбционной бромистолитиевой холодильных машин, причем испарительной секции генератора эжекторной холодильной машины – на линии теплоносителя до абсорбционной бромистолитиевой машины и экономайзерной секции генератора – на линии теплоносителя после нее. Получена зависимость прироста холодопроизводительности установки от теплового коэффициента эжекторной холодильной машины и показана возможность повышения холодопроизводительности установки на 10...15% при использовании ступенчатой трансформации теплоты.

Ключевые слова: когенерационный газопоршневой модуль; абсорбционная бромистолитиевая холодильная машина; эжекторная холодильная машина; установка автономного энергообеспечения

Анализ проблемы

В русле общемировой тенденции децентрализации энергоснабжения все большее распространение получают установки автономного электро-, тепло- и холодообеспечения, в которых сбросная теплота приводных двигателей электрогенераторов трансформируется в холод теплоиспользующими холодильными машинами, а холод используется на технологические нужды и кондиционирования воздуха различных объектов. Особенно перспективным является применение для привода электрогенераторов газопоршневых двигателей, выпускаемых в когенерационном исполнении - со штатными теплообменниками, в которых сбросная теплота отводится на нагрев воды (теплоносителя), теплота которого в свою очередь трансформируется в холод абсорбционной бромистолитиевой холодильной машиной.

Термическое состояние газопоршневого двига-

теля обеспечивается поддержанием температуры обратного (охлажденного) теплоносителя на входе в него не выше 70 °С. В то же время при трансформации теплоты теплоносителя в холод в абсорбционной бромистолитиевой холодильной машине снижение его температуры в машине составляет не более чем 10...15 °С, то есть до 75...80 °С, при температуре теплоносителя на выходе из газопоршневого двигателя (на входе АБХМ) 90 °С. Через противоречивые требования к эффективной работе ГПД и АБХМ по температуре теплоносителя для поддержания температуры обратного теплоносителя на входе ГПД на безопасном уровне 70 °С он дополнительно охлаждается в градирне "аварийного сброса". При этом потери теплоты достигают 30%, в результате чего общий КПД (электрический и тепловой) снижается до 0,6 по сравнению с 0,8 при отсутствии тепловых потерь в системе утилизации.

Целью данной работы является повышение

эффективности трансформации сбросного тепла газового двигателя в холод путем согласования работы модуля когенерации и АБХМ.

Результаты исследования

Решение задачи повышения эффективности трансформации теплоты газового двигателя в холод рассматривалось на примере установки автономного электро-, тепло- и холодообеспечения завода ООО "Сандора"—"Pepsico Ukraine" (г. Николаев, Украина). Установка включает два когенерационных газовых двигателя JMS 420 GS-N.LC GE Jenbacher (электрическая мощность одного ГД 1400 кВт, тепловая мощность 1500 кВт), в котором теплота выпускных газов, наддувочной газозвушной смеси, охлаждающей рубашку двигателя воды и смазочного масла используется для нагрева воды. Теплота горячей воды трансформируется абсорбционной бромистолитиевой холодильной машиной AR-D500L2 Century в холод (холодильная мощность 2000 кВт), который расходуется на технологические нужды и для работы центральных кондиционеров, обеспечивающих охлаждение воздуха в машинном отделении (рис. 1).

В соответствии с существующей схемой при температуре теплоносителя, получаемого на выходе из когенерационного модуля, равной 90°C, снижение температуры теплоносителя в АБХМ обычно составляет не более $\Delta t = 15^\circ\text{C}$, а реально даже несколько меньше, что не позволяет охлаждать теплоноситель до температуры на входе в ГД $t = 70^\circ\text{C}$, обеспечивающей поддержание теплового состояния ГД на требуемом уровне, и вызывает

необходимость сбрасывать избыточную теплоту в атмосферу градирней 2 аварийного сброса. Из-за соответствующих потерь теплоты тепловые коэффициенты системы утилизации теплоты ГД оказываются значительно ниже тепловых коэффициентов собственно АБХМ, что обуславливает существенное снижение холодопроизводительности.

С целью исключения указанных потерь тепла было предложено использовать в системе утилизации дополнительную теплоиспользующую эжекторную холодильную машину (ЭХМ). Эжекторные ХМ отличаются простотой конструкции, но эффективность их работы очень сильно зависит от температуры теплоносителя на входе. Незначительное падение температуры теплоносителя приводит к значительному падению теплового коэффициента ЭХМ. Поэтому эжекторную ступень предложено использовать перед АБХМ, чтобы использовать в генераторе ЭХМ высокопотенциальное тепло.

Схема системы трансформации сбросного тепла газовых двигателей с использованием ступенчатой трансформации в ЭХМ и АБХМ показана на рис. 2.

Согласно схеме (см. рис. 2) тепло теплоносителя с температурой 90 °С используется в испарительной секции генератора ЭХМ. В АБХМ подается теплоноситель с пониженной температурой 85 °С, в результате чего на выходе из АБХМ его температура около 72°C. Для поддержания температуры обратного теплоносителя на входе в ГД не выше 70 °С оставшаяся часть избыточного тепла теплоносителя отводится в экономайзерной секции генератора ЭХМ для промежуточного нагрева жидкости перед испарительной секцией генератора.

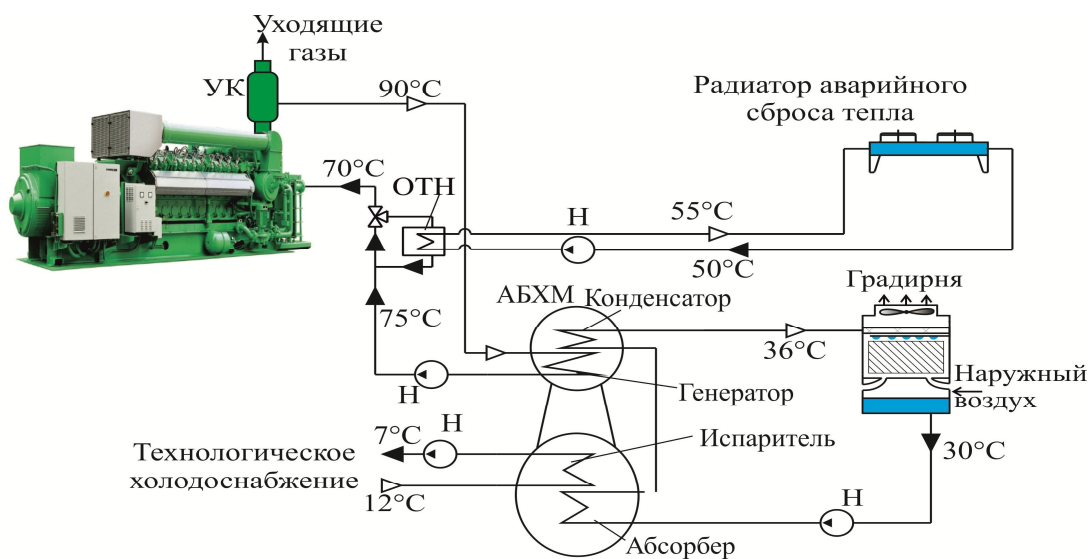


Рис. 1. Схема типовой системы трансформации сбросного тепла когенерационного газопоршневого модуля JMS 420 GS в АБХМ: УК— утилизационный котел;

Н— насос; ОТН — охладитель теплоносителя

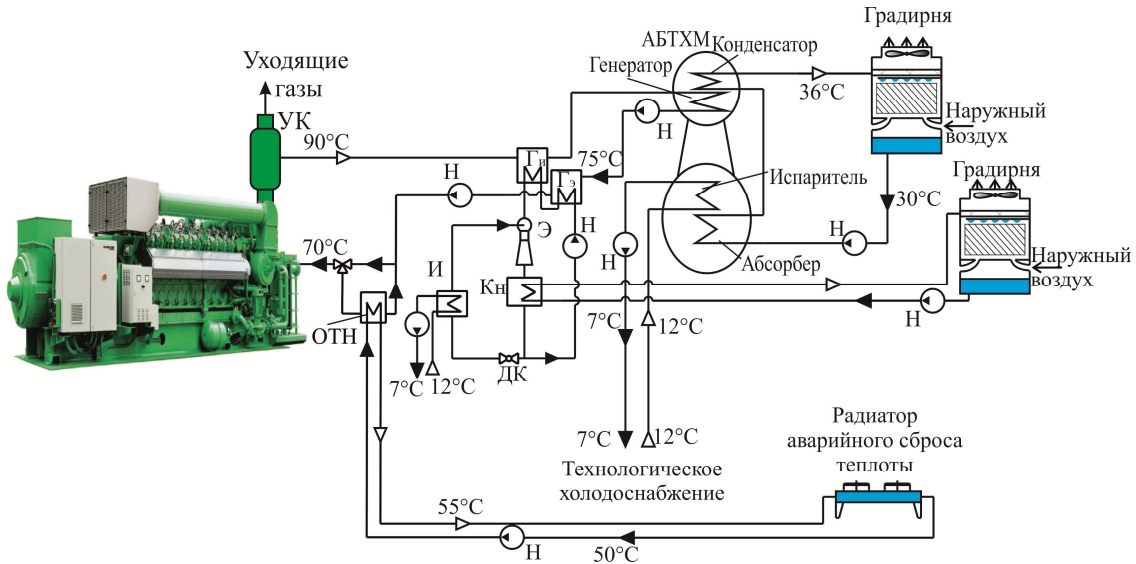


Рис. 2. Схема двухступенчатой системы трансформации сбросного тепла когенерационного модуля JMS 420 GS в ЭХМ и АБХМ: УК – утилизационный котел; ОТН – охладитель теплоносителя; ДК – дроссельный клапан; Э – эжектор; Кн – конденсатор; И – испаритель; Ги, Гэ – испарительная и экономайзерная секции генератора ЭХМ; Н – насос

Холодопроизводительности базовой системы трансформации $Q_{0(b)}$ и предложенной $Q_{0(ad)}$, а также ЭХМ $Q_{0(ej.ch)}$ ($t_g = 90^\circ C$) и АБХМ $Q_{0(ab.ch)}$ ($t_g = 85^\circ C$) представлены на рис. 3.

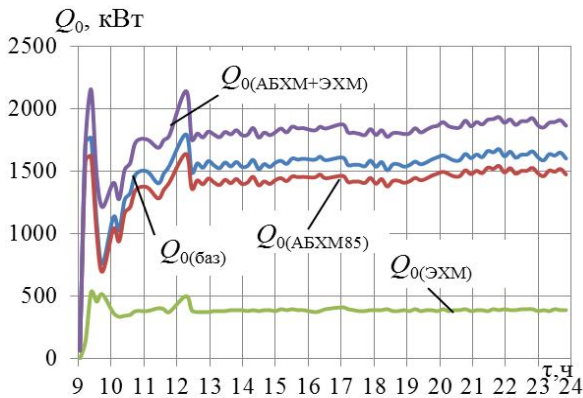


Рис. 3. Холодопроизводительности базовой $Q_{0(баз)}$ и усовершенствованной системы трансформации тепла с ЭХМ и АБХМ $Q_{0(АБХМ+ЭХМ)}$, а также ЭХМ $Q_{0(ЭХМ)}$ ($t_g = 90^\circ C$) и АБХМ $Q_{0(АБХМ85)}$, ($t_g = 85^\circ C$)

При снижении температуры теплоносителя в АБХМ наблюдается снижение количества теплоты использованного в ней и трансформированного в холод по зависимости показанной на рис. 4.

Результаты расчета прироста холодопроизводительности ΔQ_0 при разных тепловых коэффициентах ЭХМ для системы двухступенчатой трансформации сбросного тепла ГД представлен на рис 5.

Исходя из приведенных данных на рис. 4, использование ЭХМ в предложенной схеме системы трансформации сбросного тепла ГД в холод целесо-

образно при ее тепловом коэффициенте 0,15 и выше. При тепловом коэффициенте ЭХМ 0,14 не будет прироста холодопроизводительности по сравнению с базовой системой.

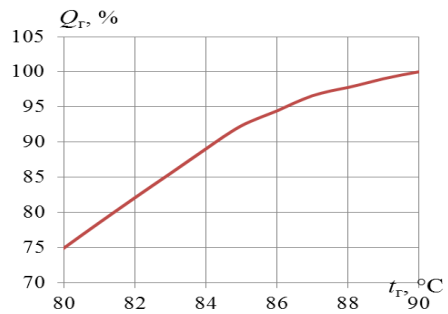


Рис. 4. Зависимость использования теплоты горячего теплоносителя Q_r от его температуры t_r

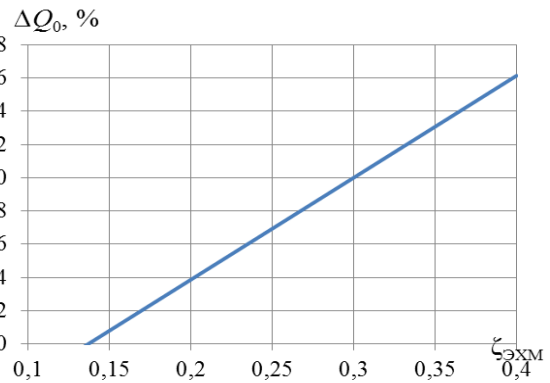


Рис. 5. Зависимость увеличения холодо-производительности ΔQ_0 в предлагаемой схеме в зависимости от теплового коэффициента ЭХМ

Заключення

Показано, що путем трансформації в ЕХМ часті теплоти, обычно сбрасываемой в атмосферу, можна збільшити холодопродуктивність установки автономного електро-, тепло- і холоднонабження. При значенні теплового коефіцієнта ЕХМ 0,4 отримують 15 % прироста холодопродуктивності.

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 [Text] / T. Elsenbruch.* – București, 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.

4. *Радченко, А. М. Трансформація теплоти когенераційних газопоршневих модулів установки автономного електро-, тепло- та холодозабезпечення технологічного виробництва [Текст] / А. М. Радченко, Р. М. Радченко, О. В. Остапенко // Повноцінне харчування: інноваційні аспекти технологій, енергоефективного виробництва, зберігання та маркетингу: колективна монографія / за ред. В. В. Євлаш, В. О. Потапова, М. І. Радченка, Н. Л. Савицької. – Харків: Видавництво Світ Книг, 2016. – С. 354-387.*

5. *Радченко, А. М. Трансформація теплоти в установці автономного енергозабезпечення абсорбційною холодильною машиною [Текст] / А. М. Радченко, О. В. Остапенко // Холодильна техніка і технологія. – 2015. – № 51 (2). – С. 32-37.*

6. *Operation of ejection solar air conditioning system with internal heat exchangers [Text] / D. Butrymowicz, K. Smierciew, J. Karpacki, N. I. Radchenko // Proceedings of the 13 International Symposium on Heat Transfer and Renewable Sources of Energy: HTRSE-2010, Szczecin, Poland, 2010. – P. 99-114.*

References

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*. București, October 28, 2010. 73 p.

3. Rouse, G., Czachorski, M., Bishop, P., Patel, J. *GTI Integrated Energy System for Buildings. Modular System Prototype*. *GTI Project report 15357/65118*, Gas Technology Institute (GTI), January 2006. 495 p.

4. Radchenko, A. M., Radchenko, R. M., Ostapenko, O. V. Transformation of the heat of cogenerative reciprocating gas engine modules in the systems of integrated electric-, heat- and cold supply for technological purposes. *Nutrition: Innovative aspects of technologies, energy efficient production, storage and marketing*. Kharkiv, KSUT Publ., 2016, pp. 354-387.

5. Radchenko, A. M., Ostapenko, O. V. Heat transformation in an integrated power supply unit by an absorption chiller. *Refrigeration technique and technology*, 2015, no. 51 (2), pp. 32-37.

6. Butrymowicz, D., Smierciew, K., Karpacki, J., Radchenko, N. I. Operation of ejection solar air conditioning system with internal heat exchangers *Proceedings of the 13 International Symposium on Heat Transfer and Renewable Sources of Energy: HTRSE-2010, Szczecin, Poland, 2010*, pp. 99-114.

Поступила в редакцію 15.11.2018, рассмотрена на редколлегии 12.12.2018

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ УТИЛІЗАЦІЇ ТЕПЛОТИ ГАЗОВОГО ДВИГУНА СТУПІНЧАСТОЮ ТРАНСФОРМАЦІЄЮ

А. М. Радченко, А. А. Зубарєв, О. В. Остапенко, А. В. Грич

Виконано аналіз ефективності утилізації теплоти когенераційного модуля газопоршневого двигуна з отриманням холоду абсорбційною бромистолітєвою холодильною машиною в установці автономного електро-, тепло- і холодозабезпечення. Виявлено наявність значних втрат теплоти, які становлять близько 30% всієї теплоти, що відводиться від когенераційного газопоршневого модуля і обумовлені неузгодженістю режимів спільної роботи абсорбційної бромистолітєвої холодильної машини і газопоршневого двигуна. Ця неузгодженість викликана суперечливими умовами їх ефективної експлуатації по температурі зворотного теплоносія на виході з абсорбційної бромистолітєвої холодильної машини і на вході в систему охолодження двигуна. Термічний стан газопоршневого двигуна забезпечується підтримкою температури зворотного (охолодженого) теплоносія на вході в нього не вище 70 °С. У той же час при трансформації теплоти теплоносія в холод в абсорбційній бромистолітєвій холодильній машині зниження його температури в ма-

шині становить не більше ніж 10...15°C, тобто до 75 ... 80 °C, при температурі теплоносія на виході з когенераційного газопоршневого модуля (на вході абсорбційної бромістолітєвої холодильної машини) 90 °C. Через суперечливі вимоги по ефективній роботі газопоршневого двигуна і абсорбційної бромістолітєвої холодильної машини по температурі теплоносія для підтримки температури зворотного теплоносія на вході двигуна на безпечному рівні 70 °C він додатково охолоджується в градирні "аварійного скидання". Досліджено застосування ступінчастої трансформації теплоти в холод з використанням ежекторної і абсорбційної бромістолітєвої холодильних машин, причому випарної секції генератора ежекторної холодильної машини - на лінії теплоносія до абсорбційної бромістолітєвої машини і економайзерної секції генератора - на лінії теплоносія після неї. Отримано залежність приросту холодопродуктивності установки від теплового коефіцієнта ежекторної холодильної машини і показана можливість підвищення холодопродуктивності установки на 10 ... 15% при використанні ступінчастою трансформації теплоти.

Ключові слова: когенераційний модуль; газовий двигун; тригенерація; абсорбційна бромістолітєва холодильна машина; ежекторна холодильна машина

IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE GAS ENGINE HEAT'S UTILIZATION BY STAGE TRANSFORMATION

A. M. Radchenko, A. A. Zubarev, O. V. Ostapenko, A. V. Hrych

It was carried out the analysis of the heat utilization efficiency of the cogeneration module of the gas reciprocating engine with the cold produced by an absorption Li-Br chiller in an autonomous electric, heat and cold supply unit. It was revealed the presence of 30% heat losses of the total heat removed from the cogeneration gas reciprocating module and is due to the inconsistency of the joint operation modes of the absorption Li-Br chiller and the gas reciprocating engine. This inconsistency is caused by the contradictory conditions of their effective operation according to the temperature of the return coolant at the outlet of the absorption Li-Br chiller and at the entrance to the engine cooling system. The thermal state of the gas reciprocating engine is ensured by maintaining the temperature of the return (cooled) coolant not more than 70 °C at the inlet. At the same time, during the transformation of the coolant heat into the cold in an absorption Li-Br chiller, the temperature reducing in the machine is no more than 10 ... 15 °C, i.e. up to 75 ... 80 °C, if the temperature of the heat coolant at the outlet of the cogeneration gas reciprocating module (at the inlet of the absorption Li-Br chiller) is 90 °C. Due to the conflicting requirements for efficient operation of the gas reciprocating engine and absorption Li-Br chiller for the coolant temperature to maintain the temperature of the return coolant at the engine inlet at a safe level of 70 °C, it is additionally cooled in the "emergency heat release" cooling tower. It was studied the stage transformation of heat into cold applying ejector and absorption Li-Br chiller, and the evaporator section of the ejector chiller's generator was on the coolant line before the absorption Li-Br chiller and the economizer section of the generator was on the coolant line after it. It was determined the dependence of the units' cooling capacity increase on the thermal coefficient of the ejector chiller and the possibility of the unit's cooling capacity increase by 10 ... 15% applying stage transformation of heat.

Keywords: cogeneration module; gas reciprocating engine; absorption Li-Br chiller; ejector chiller

Радченко Андрей Николаевич – канд. техн. наук, доцент кафедры кондиционирования и рефрижерации, Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова, Николаев, Украина.

Зубарев Анатолий Анатольевич – ст. преподаватель кафедры кондиционирования и рефрижерации, Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова, Николаев, Украина.

Остапенко Алексей Валерьевич – канд. техн. наук, доцент кафедры кондиционирования и рефрижерации, Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова, Николаев, Украина.

Грич Артем Викторович – канд. техн. наук, доцент кафедры кондиционирования и рефрижерации, Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова, Николаев, Украина.

Radchenko Andrii Mykolayovych – PhD Assistant Professor of the Conditioning and Refrigeration Department, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine, e-mail: nirad50@gmail.com. ORCID Author ID: 0000-0002-8735-9205.

Zubarev Anatolii Anatoliyovych – senior lecturer of the Conditioning and Refrigeration Department, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine, e-mail: nirad50@gmail.com.

Ostapenko Oleksii Valeriyovych – PhD, Assistant Professor of the Conditioning and Refrigeration Department of the Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine, e-mail: ostapenko.alex89@gmail.com. ORCID Author ID: 0000-0001-7343-6743.

Hrych Artem Victorovych – PhD, Assistant Professor of the Conditioning and Refrigeration Department of the Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine, e-mail: artem.grich@gmail.com. ORCID Author ID: 0000-0002-2142-3665.