

DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-3-612-618

CHARACTERISTICS OF OPERATIONAL PROCESSES OF AIR INDEPENDENT SINGLE-CIRCUIT MICRO GAS-TURBINE INSTALLATIONS FOR UNDERWATER TECHNOLOGY

V. T. Matviienko¹, V. A. Ocheretianyi², A. V. Dologlonyan³

¹ Nakhimov Black Sea Higher Naval School, Sevastopol, Russian Federation

² Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation

³ Institute of nature-technical systems, Sevastopol, Russian Federation

In development of fields of the shelf of the seas and oceans the essential part is assigned to the underwater equipment which is carrying out both technology, and operational functions. Possibilities of the equipment more depend on power equipment of submarines. Among different types of power plants of submarines the air-independent gas turbine plants (AIGTP) capable to work in single-circuit option at organic types of fuel with an oxidizer – oxygen attract interest. Schemes of the closed single-circuit GTU using organic fuel where a working body is products of combustion of fuel at its connection with oxygen are chosen as a subject of consideration. As a working body mix of a carbon dioxide gas as main component and water vapor is used, therefore, that process of burning is similar to burning in the environment of air. Excesses of a working body in the form of CO₂ are removed from a cycle, in this case, by means of dissolution in outside water in the bubbler, the oxygen which is poorly dissolved in water returns to a cycle. Ways of increase in efficiency of the engine were considered at complication of cycle GTE using warmth regeneration, i.e. heating of a working body in front of the combustion chamber by warmth of exhaust gases of the engine, and also by use of the turbocompressor utilizer formed by the overexpansion turbine. In the work the analysis of thermodynamic characteristics of working cycles of AIGTP is carried out, optimal circuit solutions and their characteristics taking into account the reached technological capabilities are proposed. It is established that the efficiency of the closed GTE with a regenerator of warmth and the closed GTE with the turbine of overexpansion are approximately equal and, relatively, is 15 – 20 % higher, than in the closed GTE of a simple cycle. Therefore, owing to design features of microturbines it is reasonable to apply the closed GTE with warmth regeneration having smaller value of extent of pressure increase in the engine compressor.

Keywords: closed circuit gas-turbine power installation, microturbine, heat regeneration, overexpansion turbine.

For citation:

Matviienko, Valerii T., Volodymyr A. Ocheretianyi, and Andrey V. Dologlonyan. "Characteristics of operational processes of air independent single-circuit micro gas-turbine installations for underwater technology." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 9.3 (2017): 612–618. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-3-612-618.

УДК 621.438

ХАРАКТЕРИСТИКИ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ ВОЗДУХОНЕЗАВИСИМЫХ ОДНОКОНТУРНЫХ МИКРОГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ПОДВОДНОЙ ТЕХНИКИ

В. Т. Матвеев¹, В. А. Очеретянский², А. В. Дологлонян³

¹ Черноморское высшее военно-морское ордена Красной Звезды училище им. П. С. Нахимова, Севастополь, Российская Федерация

² ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Севастополь, Российская Федерация

³ ФГБНУ «Институт природно-технических систем», Севастополь, Российская Федерация

В освоении месторождений шельфа морей и океанов существенная роль отводится подводной технике, выполняющей как технологические, так и эксплуатационные функции. Возможности техники в большой степени зависят от энергетической оснащенности аппаратов. Среди различных типов энергоустановок подводных аппаратов вызывают интерес воздухонезависимые газотурбинные установки, способные в одно-

контурном варианте работать на органических видах топлива с окислителем — кислородом. Предметом рассмотрения выбраны схемы замкнутых одноконтурных газотурбинных установок, работающих на органическом топливе, где рабочим телом являются продукты сгорания топлива при соединении его с кислородом. В качестве рабочего тела используется смесь углекислого газа как основного компонента и водяного пара таким образом, что процесс горения подобен горению в среде воздуха. Излишки рабочего тела в виде CO_2 удаляются из цикла, в данном случае посредством растворения в забортной воде в барботере; кислород, слабо растворяющийся в воде, возвращается в цикл. Способы повышения КПД двигателя рассматривались при усложнении цикла газотурбинных двигателей с применением регенерации теплоты, т. е. подогрева рабочего тела перед камерой сгорания за счет теплоты выхлопных газов двигателя, а также применения турбокомпрессорного утилизатора, образованного за счет турбины перерасширения. В работе проведен анализ термодинамических характеристик рабочих циклов воздухонезависимых газотурбинных установок, предлагаются оптимальные схемные решения и их характеристики с учетом достигнутых технологических возможностей. Установлено, что КПД замкнутого газотурбинного двигателя с регенератором теплоты и замкнутого газотурбинного двигателя с турбиной перерасширения примерно равны и на 15 – 20 % выше, чем в замкнутых газотурбинных двигателях простого цикла. Следовательно, в силу конструктивных особенностей микротурбин целесообразно применять замкнутые газотурбинные двигатели с регенерацией теплоты, имеющие меньшее значение степени повышения давления в компрессоре двигателя.

Ключевые слова: замкнутая газотурбинная энергетическая установка, микротурбина, регенерация теплоты, турбина перерасширения.

Для цитирования:

Матвеевко В. Т. Характеристики рабочих процессов воздухонезависимых одноконтурных микротурбинных установок для подводной техники / В. Т. Матвеевко, В. А. Очеретяный, А. В. Дологло-нян // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2017. — Т. 9. — № 3. — С. 612–618. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-3-612-618.

Введение

Большие запасы нефти и газа, а также других полезных ископаемых сконцентрированы на шельфе морей и океанического побережья. В разведке, обустройстве и дальнейшей эксплуатации месторождений, магистральных трубопроводов в Азово-Черноморском бассейне, на Балтике и Арктическом шельфе существенную роль будут играть автономные и обитаемые подводные аппараты, которые предназначены для выполнения широкого спектра технологических операций. В мире давно ведутся работы по созданию различных типов воздухонезависимых энергетических установок (ВНЭУ) для подводных объектов [1]. Оригинальна ВНЭУ на базе электрохимических генераторов, работающих на водороде и кислороде, в которой водород получают на борту лодки посредством риформинга углеводородного топлива. Создан ряд ВНЭУ на базе тепловых двигателей: замкнутый двигатель внутреннего сгорания (ДВС), двухконтурная установка с двигателем Стирлинга, двухконтурная паротурбинная установка MESMA. В патентах U. S. Patent № 4674463 [2] и RU № 2542166 [3] предлагаются замкнутые одноконтурные газотурбинные двигатели (ГТД), рабочим телом в которых является смесь продуктов сгорания органического топлива и кислорода. Перспективность ВНЭУ на базе ГТД обоснована в работе [4], поэтому целью исследования является определение термодинамических характеристик тепловых схем и их рабочих процессов в одноконтурных замкнутых ГТД, работающих на органическом топливе.

При горении органического топлива (C_nH_m) с окислителем-кислородом O_2 образуются основные продукты сгорания: диоксид углерода CO_2 и пары воды H_2O . Так как процесс горения топлива в камере сгорания ГТД происходит с определенным избытком кислорода и смешением рабочего тела с продуктами сгорания, то перед турбиной рабочее тело состоит из $\text{CO}_2 + \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$ при заданной начальной температуре газа T_3 . После турбины при охлаждении смеси газов часть паров H_2O конденсируется и удаляется из цикла; добавляется кислород и перед компрессором рабочее тело состоит из $\text{CO}_2 + \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$, где вода в виде пара находится около линии насыщения при температуре T_1 на входе в компрессор. После компрессора двигателя избыток CO_2 удаляется из цикла с возвратом кислорода на вход компрессора. Исследование горения органического топлива (в частности, метана CH_4) в среде $\text{CO}_2 + \text{O}_2$ показали, что при объемной доле O_2 , находящейся в диапазоне от 25 до 35 %, процесс горения подобен горению в среде воздуха [5]. Этот результат принят за ориентир.

Методы и материалы анализа параметров рабочих циклов замкнутых ГТД

Предметом рассмотрения выбраны схемы замкнутых одноконтурных ГТУ, работающих на органическом топливе, где рабочим телом являются продукты сгорания топлива при соединении его с кислородом. За основу замкнутой газотурбинной установки (ГТУ) принят ГТД простого цикла, схема которого приведена на рис. 1.

ГТД простого цикла — одновальный, обычно применяемый для привода электрогенераторов, топливо может быть жидким (дизельное топливо, керосин и т. д.), газообразным (метан, пропан-бутан и др.). В камере сгорания горение органического топлива происходит в сжатом в компрессоре рабочем теле, состоящем из газообразных $\text{CO}_2 + \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$, при этом доля O_2 уменьшается, доля CO_2 и H_2O увеличивается. Отработав в турбине, газ охлаждается в охладителе газа (ОГ), в сепараторе удаляется сконденсировавшаяся влага (H_2O), далее рабочее тело в смесителе подпитывается газообразным кислородом и поступает в компрессор. Излишки рабочего тела в виде CO_2 удаляются из цикла, в данном случае посредством растворения в забортной воде в барботере (Б), кислород, слабо растворяющийся в воде, возвращается в цикл.

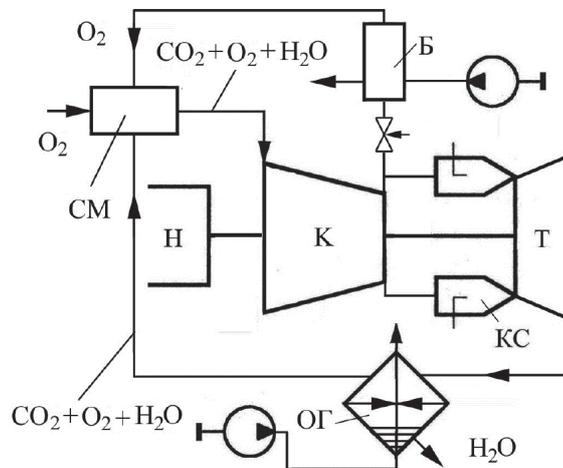


Рис. 1. Схема замкнутой ГТУ, работающей на органическом топливе:
К — компрессор; Т — турбина; КС — камера сгорания; ОГ — охладитель газа;
СМ — смеситель; Б — барботер; Н — нагрузка

Получить более высокий КПД двигателя можно за счет усложнения цикла ГТД. Традиционно в микротурбинах применяют регенерацию теплоты, т. е. подоржев рабочего тела перед камерой сгорания за счет теплоты выхлопных газов двигателя (схема представлена на рис. 2).

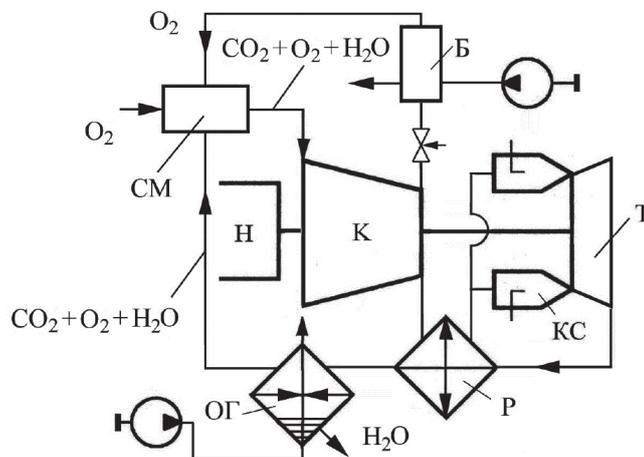


Рис. 2. Схема замкнутой ГТУ с регенерацией теплоты:
К — компрессор; Т — турбина; КС — камера сгорания; ОГ — охладитель газа; СМ — смеситель;
Б — барботер; Н — нагрузка; Р — регенератор

В замкнутой газотурбинной установке (ЗГТУ) с регенерацией теплоты (см. рис. 2) по отношению к ЗГТУ простого цикла (см. рис. 1) добавлен теплообменник — регенератор для подогрева рабочего тела перед камерой сгорания, что позволяет повысить КПД двигателя. Можно повысить КПД ГТД простого цикла посредством применения в рабочем цикле перерасширения газа за силовой турбиной, что увеличивает мощность двигателя при том же расходе топлива (рис. 3).

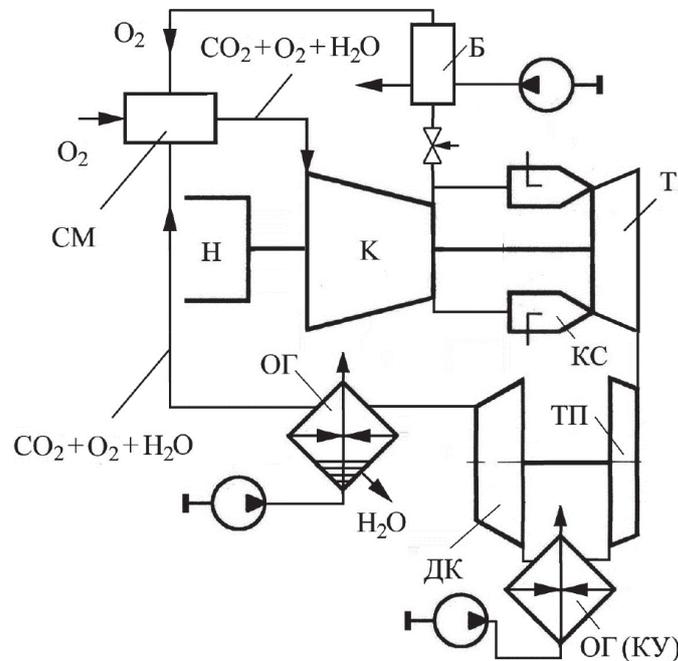


Рис. 3. Схема замкнутой ГТУ с турбиной перерасширения:
 К — компрессор; Т — турбина; КС — камера сгорания; ТП — турбина перерасширения;
 ДК — дожимающий компрессор; ОГ — охладитель газа (котел утилизатор);
 СМ — смеситель; Б — барботер; Н — нагрузка

На рис. 3 изображена схема ЗГТУ с турбиной перерасширения. Турбина перерасширения, соединенная валом с дожимающим компрессором и с охладителем газа, расположенным между ними, образует турбокомпрессорный утилизатор (ТКУ). Охладитель газа в ТКУ можно использовать как котел-утилизатор, необходимый для выработки теплоты для общесудовых целей.

При выборе параметров узлов микротурбинных установок необходимо учитывать масштабный фактор, влияющий на аэродинамические характеристики турбомашин. Так, КПД компрессора находится в пределах 80 %, КПД охлаждаемой турбинной ступени $\eta_t = 84 - 86$ %, КПД неохлаждаемой турбины достигает 88 – 90 % [6]. Начальная температура газа T_3 в микротурбине находится в пределах от 1173 до 1373 К, при этом турбина привода компрессора газогенератора может быть неохлаждаемой, а при более высокой начальной температуре газа охлаждаемой.

Для ЗГТУ характерно наличие теплообменных аппаратов, которые должны обеспечить необходимые параметры рабочего тела в цикле, и при этом иметь оптимальные габаритные размеры для микротурбинных установок. В микротурбинных установках, как правило, применяется регенератор (рекуператор), размеры которого существенно зависят от выбранной степени регенерации и конструкции теплообменной матрицы. Сегодня степень регенерации $\sigma = 0,8$ для микротурбины является достижимой и оптимальной.

Анализ параметров рабочих циклов ЗГТУ проводился с использованием физико-математических моделей и программного обеспечения, ранее апробированного при исследованиях на опытном газотурбогенераторе [6]. При анализе циклов одноконтурных ЗГТУ в имеющиеся математические модели были введены новые параметры рабочего тела (смеси газов), которые можно менять как по составу, так и по концентрации компонентов.

Анализ параметров циклов ЗГТД с регенерацией теплоты и для сравнения ЗГТД простого цикла производился при изменении степени повышения давления π_k в компрессоре двигателя, начальной температуры газа T_3 , состава рабочего тела и при прочих равных фиксированных параметрах элементов, характерных для микрогазотурбинных установок.

Результаты исследования параметров замкнутых микрогазотурбинных установок на органическом топливе

На рис. 4 изображены характеристики циклов ЗГТУ с регенерацией теплоты (Р) и простого цикла (П). Рабочим телом является смесь газов, состоящая из $\text{CO}_2 + \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$, где удельная объемная составляющая кислорода 25 %. Начальная температура газа $T_3 = 1373 \text{ K}$ демонстрирует возможности ЗГТУ по экономичности, но предусматривает применение охлаждаемой турбинной ступени.

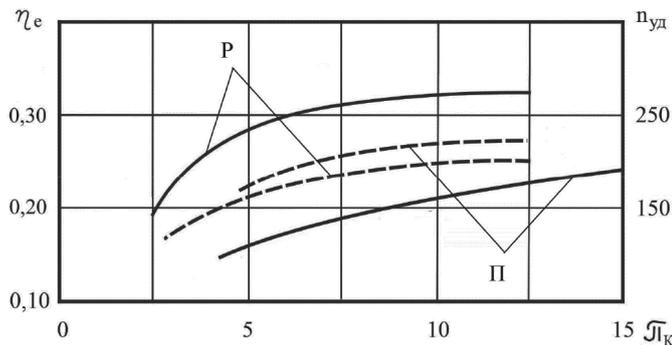


Рис. 4. Зависимости КПД η_e (сплошные линии) и удельной мощности $n_{уд}$ (пунктир) от π_k для ЗГТУ при $T_3 = 1373 \text{ K}$, $\sigma = 0,8$, рабочее тело: $\text{CO}_2 + \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$

Величины эффективного КПД η_e и удельной мощности $n_{уд}$ получены при температуре газа на входе в компрессор двигателя $T_1 = 313 \text{ K}$, которую можно получить при нахождении аппарата в подводном положении. Из приведенных на рис. 4 зависимостей видно, что при относительно малых значениях π_k ЗГТД с регенерацией теплоты имеют наиболее высокие значения КПД (относительное увеличение примерно в 1,5 раза) по сравнению с КПД простого цикла.

Анализ параметров ЗГТУ с применением турбины перерасширения производился еще с учетом степени повышения давления в дожимающем компрессоре π_{dk} , обеспечивающем понижение давления за турбиной перерасширения. Ранее проведенные исследования и испытания опытного газотурбогенератора с ТКУ показали, что для ГТД простого цикла оптимальные значения $\pi_{dk} = 2,0 - 2,25$ [7], [8]. Характеристики ЗГТУ с турбиной перерасширения при начальной температуре газа $T_3 = 1373 \text{ K}$ и $\pi_{dk} = 2,25$ в зависимости от изменения степени повышения давления в компрессоре π_k в двигателе, также показаны на рис. 5.

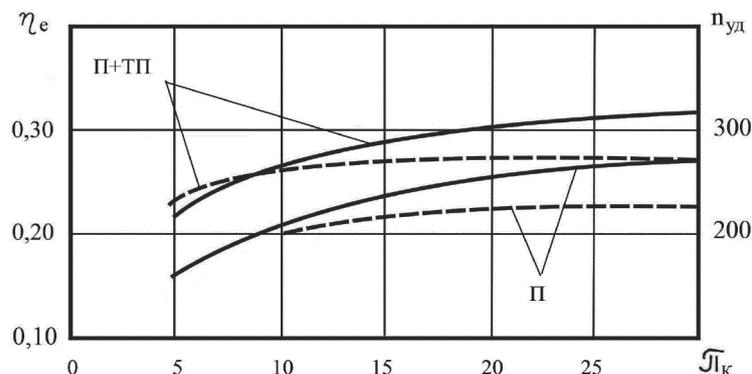


Рис. 5. Зависимости КПД η_e (сплошные линии) и удельной мощности $n_{уд}$ (пунктир) от π_k для ЗГТУ с ТП при $T_3 = 1373 \text{ K}$, $\pi_{dk} = 2,25$, рабочее тело: $\text{CO}_2 + \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$

На рисунке видно, что применение в ЗГТУ турбины перерасширения позволяет повысить КПД двигателя примерно на 15 – 20 %; в такой же степени увеличивается удельная мощность смеси рабочего тела.

Необходимо отметить, что КПД ЗГТД с регенератором теплоты и ЗГТД с турбиной перерасширения примерно равны, однако для ЗГТД с ТП оптимальное значение $\pi_k = 20 - 30$, поэтому в силу конструктивных особенностей микротурбин, целесообразно применять ЗГТД с регенерацией теплоты, имеющие меньшее значением π_k в компрессоре двигателя. В ЗГТУ возможно применение количественного метода регулирования мощности (путем увеличения плотности рабочего тела поднятием давления в контуре), поэтому в ЗГТУ с регенерацией теплоты максимальные давления газа в цикле конструктивно приемлемы.

Таким образом, анализ термодинамических параметров циклов одноконтурных ЗГТД с регенерацией теплоты, где рабочим телом являются продукты сгорания органического топлива, показывает возможность создания воздухонезависимых микрогазотурбинных установок подводных объектов на базе элементов и двигателей, освоенных отечественными и зарубежными производителями, имеющими опытно-конструкторский задел и технологические возможности [1]. Дальнейшее повышение экономичности и общей энергоэффективности ЗГТУ для подводных объектов возможно за счет применения неохлаждаемых турбин газогенератора [9], выполненных из керамических материалов, и далее за счет усложнения рабочих циклов ГТД традиционными способами, в том числе — с применением турбины перерасширения [10].

Заключение

1. Параметры рабочих циклов замкнутых ГТД, работающих на продуктах сгорания органических топлив, близки по своим значениям к ГТД, работающим на воздухе, и могут быть построены по одноконтурной схеме.
2. Для замкнутых микрогазотурбинных установок на начальном этапе оптимальны схемы ГТД с регенерацией теплоты.
3. Для научно-технического задела и создания микрогазотурбинных установок для подводных объектов в настоящее время имеется элементная база и технологические возможности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чернышев Е. А. Развитие воздухонезависимых энергетических установок подводных лодок / Е. А. Чернышев, Е. А. Романова, А. Д. Романов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2015. — № 5 (33). — С. 140–152.
2. U.S. Patent № 4674463 Int. Cl. F02B 47/08 Internal combustion engines / David K. Duckwort, Frederick W. Morley; assignee Cosworth Engineering Limited, Northampton, United Kingdom, appl. No.: 910289; PCT Filed Mar.1,1984 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.google.ch/patents/US4674463> (дата обращения: 02.02.2017).
3. Пат. 2542166 Российская Федерация, МПК F 02 G 1/04. Энергетическая установка подводного аппарата / В. Ю. Дорофеев, В. В. Замуков, Д. В. Сидоренков; заявитель и патентообладатель ОАО «Санкт-Петербургское морское бюро машиностроения «Малахит». — № 2013153997/06; заяв. 04.12.2013; опубл. 20.02.2015, Бюл. № 5.
4. Замуков В. В. Выбор воздухонезависимой энергоустановки неатомных подводных лодок / В. В. Замуков, Д. В. Сидоренков // Судостроение. — 2012. — № 4. — С. 29–33.
5. Бабурин А. В. Стабилизация пламени метана при замене окислительной среды воздуха на смесь ($O_2 + CO_2$) / А. В. Бабурин // Технологии техносферной безопасности. — 2009. — № 3. — С. 1–6.
6. Манушин Э. А. Теория и проектирование газотурбинных и комбинированных установок / Э. А. Манушин, В. Е. Михальцев, А. П. Чернобровкин. — М.: Машиностроение, 1977. — 447 с.
7. Matviienko V. Variable Regimes Operation of Cogenerative Gas-Turbine Engine With Overexpansion Turbine / V. Matviienko, V. Ocheretianyi // ASME Turbo Expo 2010: Power for Land, Sea, and Air. — American Society of Mechanical Engineers, 2010. — Pp. 33–37. DOI: 10.1115/GT2010-22029.
8. Bianchi M. A Feasibility Study of Inverted Brayton Cycle for Gas Turbine Repowering / M. Bianchi, G. Negri di Montenegro, A. Peretto, P. R. Spina // Journal of Engineering for Gas Turbines and Power. — 2005. — Vol. 127. — Is. 3. — Pp. 599–605. DOI:10.1115/1.1765121.

9. Watt J. Microturbine Development At Ingersoll-Rand Energy System / J. Watt // Proceeding of ASME Turbo Expo GT 2005-69158. — 2005.
10. *Матвеев В. Т.* Перспективы повышения эффективности высокотемпературного газотурбинного двигателя усложнением цикла Брайтона / В. Т. Матвеев, В. А. Очеретяный, А. Г. Андриец // Вестник СевГТУ: сб. науч. тр. — 2009. — Вып. 97. — С. 113–115.

REFERENCES

1. Chernyshov, Evgeny Aleksandrovich, Elena Anatolievna Romanova, and Aleksey Dmitrievich Romanov. "Development of air independent power stations of submarines." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 5(33) (2015): 140–152.
2. U.S. Patent № 4674463 Int. Cl. F02B 47/08 Internal combustion engines / David K. Duckwort, Frederick W. Morley; assignee Cosworth Engineering Limited, Northampton, United Kingdom, appl. No.: 910289; PCT Filed Mar.1,1984. Web. 2 Feb. 2017 <<http://www.google.ch/patents/US4674463>>.
3. Dorofeev, V. Yu., V. V. Zamukov, and D. V. Sidorenkov. RU 2 542 166 C1, IPC F 02 G 1/04. Russian Federation, assignee. Publ. 20 Feb. 2015.
4. Zamukov, V. V., and D. V. Sidorenkov. "Selection of air-independent power plant for non-nuclear submarines." *Shipbuilding* 4 (2012): 29–33.
5. Baburin, A. V. "Stabilization of the methane flame in course of replacing the air oxidation medium for synthetic mixture (O₂ + CO₂)." *Tekhnologii tekhnosfernoi bezopasnosti* 3 (2009): 1–6.
6. Manushin, E. A., V. E. Mikhal'tsev, and A. P. Chernobrovkin. *Teoriya i proektirovanie gazoturbinykh i kombinirovannykh ustanovok*. M.: Mashinostroenie, 1977.
7. Matviienko, V., and V. Ocheretianyi. "Variable Regimes Operation of Cogenerative Gas-Turbine Engine With Overexpansion Turbine." *ASME Turbo Expo 2010: Power for Land, Sea, and Air*. American Society of Mechanical Engineers, 2010: 33–37. DOI: 10.1115/GT2010-22029.
8. Bianchi, M., G. Negri di Montenegro, A. Peretto, and P. R. Spina. "A Feasibility Study of Inverted Brayton Cycle for Gas Turbine Repowering." *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power* 127.3 (2005): 599–605. DOI:10.1115/1.1765121.
9. Watt, J. "Microturbine Development At Ingersoll-Rand Energy System." *Proceeding of ASME Turbo Expo GT 2005-69158* (2005).
10. Matveenko, V. T., V. A. Ocheretyanyi, and A. G. Andriets. "Perspektivy povysheniya effektivnosti vysokotemperaturnogo gazoturbinnogo dvigatelya uslozhneniem tsikla Braitona." *Vestnik SevGTU. Sb. nauchn. trudov* 97 (2009): 113–115.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Матвеев Валерий Тимофеевич — доктор технических наук, профессор Черноморское высшее военно-морское ордена Красной Звезды училище имени П. С. Нахимова 299028, Российская Федерация, г. Севастополь, ул. Дыбенко Павла 1, корп. А
e-mail: mvt3900@mail.ru

Очеретяный Владимир Анатольевич — кандидат технических наук, доцент ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет» 299053, Российская Федерация, г. Севастополь, ул. Университетская, 33
e-mail: ocheret-1961@rambler.ru

Дологлонян Андрей Вартазарович — кандидат технических наук, доцент ФГБНУ «Институт природно-технических систем» 299011, Российская Федерация, г. Севастополь, ул. Ленина, 28
e-mail: dologlonyan@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Matviienko, Valerii T. — Dr. of Technical Sciences, professor Nakhimov Black Sea Higher Naval School 1–A, Dybenko Pavla Str., Sevastopol, 299028, Russian Federation
e-mail: mvt3900@mail.ru

Ocheretianyi, Volodymyr A. — PhD, associate professor Sevastopol State University 33, Universitetskaia Str., Sevastopol, 299053, Russian Federation
e-mail: ocheret-1961@rambler.ru

Dologlonyan, Andrey V. — PhD, associate professor Institute of nature-technical systems 28, Lenina Str., Sevastopol, 299011, Russian Federation
e-mail: dologlonyan@mail.ru

Статья поступила в редакцию 20 апреля 2017 г.
Received: April 20, 2017.