

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ, СИСТЕМЫ И УСТРОЙСТВА

DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-4-757-764

OPERATION AT VARIABLE MODES OF CLOSED MICRO-GAS TURBINE PLANTS WITH OXIDIZER-OXYGEN FOR UNDERWATER EQUIPMENT

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 natural and technical systems, Sevastopol, Russian Federation

In the Arctic, submarines and equipment in the near future will carry out transport operations with overcoming ice fields underwater, as well as exploration, construction and operation of underwater objects. It is possible to use gas turbine plants in a single-circuit version, which operate on hydrocarbon fuel, as closed ones for underwater equipment. The oxidizing agent is usually oxygen. The working fluid of closed gas turbine plants (CGTP) is a mixture of combustion products of hydrocarbon fuel and oxygen. Studies of the thermodynamic cycle characteristics of CGTP with oxygen as an oxidizer with various initial data have shown the possibility of operating micro-gas turbine plants at nominal conditions with acceptable efficiency in engines with heat recovery. Higher efficiency indicators are obtained in CGTP with a turbocompressor utilizer (TCU) and a heat regenerator. However, power plants of underwater equipment are often operated at partial loads under various types of loads associated with their purpose. When determining characteristics in variable modes, the nominal parameters are the initial data. For CGTP with TCU and heat recovery (R), the efficiency is relatively 15 ... 20% higher than for CGTP with R, and the specific power is 1.5 times higher. Investigation of the CGTP characteristics at partial loads is carried out under generator and screw loading, which are typical for underwater equipment. It has been established that CGTP with TCU and R at all loading modes have higher efficiency than CGTP with R. CGTP at partial loads with a screw type of loading are more economical than at variable generator loads. CGTP can produce mechanical and thermal energy, ensuring high energy efficiency of the plant in a submerged position.

Keywords: closed gas turbine plant, micro-gas turbine, heat recovery, turbocompressor utilizer, variable mode.

For citation:

Matviienko, Valerii T., Vladimir A. Ocheretianyi, and Andrey V. Dologlonyan. "Operation at variable modes of closed micro-gas turbine plants with oxidizer-oxygen for underwater equipment." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 12.4 (2020): 757–764. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-4-757-764.

УДК 621.438

ЭКСПЛУАТАЦИЯ НА ПЕРЕМЕННЫХ РЕЖИМАХ ЗАМКНУТЫХ МИКРОГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК С ОКИСЛИТЕЛЕМ КИСЛОРОДОМ ДЛЯ ПОДВОДНОЙ ТЕХНИКИ

В. Т. Матвеев¹, В. А. Очеретяний², А. В. Дологлонян³

¹ — Черноморское высшее военно-морское ордена Красной Звезды училище имени 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 статье отмечается, что в Арктике подводные суда и техника в ближайшем будущем будут выполнять транспортные операции с преодолением ледовых полей в подводном положении, а также разведку,

обустройство и эксплуатацию подводных объектов. Обращается внимание на то, что в качестве замкнутых для подводной техники можно применять газотурбинные установки в одноконтурном варианте, работающие на углеводородном топливе, в которых окислителем обычно является кислород. Рабочим телом замкнутых газотурбинных установок является смесь продуктов сгорания углеводородного топлива и кислорода. Исследования характеристик термодинамических циклов замкнутых газотурбинных установок с кислородом в качестве окислителя при различных исходных данных показали возможность работы микрогазотурбинных установок на номинальных режимах с приемлемой экономичностью в двигателях с регенерацией теплоты. Более высокие показатели по экономичности получены в замкнутых газотурбинных установках с турбокомпрессорным утилизатором и регенератором теплоты. При этом отмечается, что энергетические установки подводной техники часто эксплуатируются на частичных нагрузках при различных видах нагружения, связанных с их назначением. Подчеркивается, что при определении характеристик на переменных режимах исходными данными являются номинальные параметры. Для замкнутых газотурбинных установок с турбокомпрессорным утилизатором и регенерацией теплоты КПД выше в 1,15–1,20 раза, чем для замкнутых газотурбинных установок с регенерацией теплоты, а удельная мощность больше в 1,5 раза. Исследования характеристик замкнутых газотурбинных установок на частичных нагрузках производились при генераторном и винтовом нагружениях, характерных для подводной техники. Установлено, что замкнутые газотурбинные установки с турбокомпрессорным утилизатором и регенератором теплоты на всех режимах нагружения имеют экономичность выше, чем замкнутые газотурбинные установки с регенераторами теплоты. Замкнутые газотурбинные установки на частичных нагрузках при винтовом типе нагружения более экономичны, чем на переменных генераторных нагрузках, и могут производить механическую и тепловую энергию, обеспечивая высокую энергоэффективность установки в подводном положении.

Ключевые слова: замкнутая газотурбинная установка, микрогазотурбина, регенерация теплоты, турбокомпрессорный утилизатор, переменный режим.

Для цитирования:

Матвеев В. Т. Эксплуатация на переменных режимах замкнутых микрогазотурбинных установок с окислителем кислородом для подводной техники / В. Т. Матвеев, В. А. Очеретяный, А. В. Долгопянов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2020. — Т. 12. — № 4. — С. 757–764. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-4-757-764.

Введение (Introduction)

В ближайшем будущем подводные аппараты и суда будут играть существенную роль в обустройстве прибрежной и подводной инфраструктуры Арктического шельфа, в том числе в ходе выполнения транспортных операций с преодолением ледовых полей в подводном положении. Замкнутые газотурбинные установки (ЗГТУ) занимают особое место среди различных типов воздухонезависимых энергетических установок для подводной техники [1], [2]. Они способны в одноконтурном варианте работать на органических видах топлива [3], [4] с различными термодинамическими циклами. Окислителем топлива обычно является кислород, который находится на борту подводного аппарата в газообразном или жидком состоянии в соответствующих системах хранения.

Рабочее тело одноконтурной ЗГТУ представляет собой смесь продуктов сгорания углеводородного топлива и кислорода, поскольку в переходный период работы установки, после запуска ЗГТУ на воздухе, начинается сброс излишков рабочего тела из замкнутого контура и изменение его состава. В процессе сгорания топлива в ЗГТУ образуются продукты реакции в виде двуокиси углерода и паров воды, также в контур ЗГТУ добавляется окислитель. После сброса излишков рабочего тела его состав изменяется посредством постепенного замещения азота N_2 двуокисью углерода CO_2 . Через конечное количество циклов обмена состав рабочего тела стабилизируется и перед турбиной он состоит из $CO_2 + O_2 + H_2O$, где вода присутствует в виде пара на линии насыщения.

Характеристики циклов замкнутых микрогазотурбинных установок (ЗМГТУ) с окислителем — кислородом при различных исходных данных [3] — можно использовать при определении параметров рабочих циклов при номинальных нагрузках. Однако энергоустановки подводной техники, как правило, эксплуатируются на частичных нагрузках и при различных

видах нагружения, связанных с ее назначением. Поэтому необходимо определить при различных схемных решениях энергоэффективные режимы работы ЗМГТУ как при номинальных, так и на частичных нагрузках.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Схемы и характеристики замкнутых газотурбинных установок на номинальных режимах. В микрогазотурбинных установках традиционно применяется схема газотурбинного двигателя с регенерацией теплоты. Авторы патента [4] в ЗГТУ для подводного аппарата применили двигатель с регенерацией теплоты, где окислителем топлива является кислород. Схема ЗМГТУ с регенерацией теплоты, приведенная на рис. 1, является более экономичной по сравнению со схемой ГТД простого цикла. Регенератор в ЗМГТУ выполняет также функцию предварительного охлаждения газа перед конечным охладителем газа (ОГ) в замкнутом контуре. Удаление из контура избыточного количества двуокиси углерода CO_2 производится растворением их в барботере (Б). Пополнение рабочего тела кислородом производится в смесителе (СМ) перед компрессором двигателя.

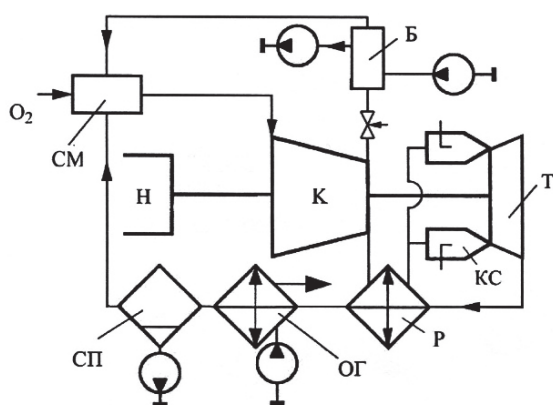


Рис. 1. Схема одноконтурной ЗМГТУ с регенерацией теплоты: К — компрессор; Т — турбина; КС — камера сгорания; Р — регенератор, ОГ — охладитель газа; СМ — смеситель; Н — нагрузка; СП — сепаратор влаги; Б — барботер

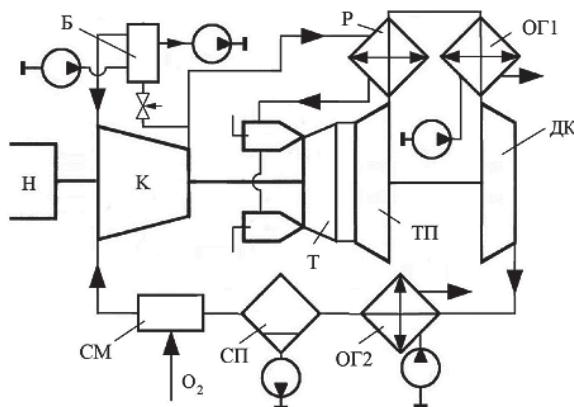


Рис. 2. Схема одноконтурной ЗМГТУ с ТКУ и регенерацией теплоты: ТП — турбина перерасширения; ДК — дожимающий компрессор; ОГ1 — охладитель газа перед ДК; ОГ2 — охладитель газа

Повышение КПД ЗМГТУ с регенерацией теплоты (см. рис. 1) можно осуществить [5] за счет подключения турбокомпрессорного утилизатора (ТКУ) непосредственно к турбине двигателя (рис. 2). Турбина перерасширения (ТП) позволяет увеличить мощность турбин двигателя, за которыми расположен регенератор и охладитель газа (ОГ1), за счет повышения в силовой турбине степени расширения. Дожимающий компрессор (ДК) в замкнутом контуре установки выполняет роль первой ступени сжатия рабочего тела в двигателе ЗМГТУ.

При определении характеристик термодинамического цикла ЗМГТУ на номинальном режиме параметры элементов двигателя установки выбирались с учетом конструктивных особенностей, присущих микрогазотурбинным двигателям [6]–[9]. В микрогазотурбинных установках возможно использование неохлаждаемой турбины для начальных температур рабочего тела, вплоть до $T_3 = 1373$ К. Температура рабочего тела на входе в компрессор принималась $T_1 = 313$ К. Такую температуру можно достичь при нахождении объекта в подводном положении.

Результаты исследования характеристик рабочих циклов ЗМГТУ приведены в работе [11]. При анализе термодинамических циклов одноконтурных ЗМГТУ в существующие математические модели были внесены параметры нового рабочего тела — смеси продуктов сгорания углеводородного топлива и двуокиси углерода. Для определения параметров термодинамических циклов

одноконтурных ЗМГТУ исследования проводились при изменении степени повышения давления π_k в компрессоре двигателя и при степени повышения давления в дожимающем компрессоре ТКУ, принятом $\pi_{dk} = 2,25$.

Характеристики циклов ЗМГТУ с ТКУ и регенерацией теплоты (ТП + Р), а также ЗМГТУ с регенерацией теплоты (Р) показаны на рис. 3, где рабочее тело представляет собой смесь газов $\text{CO}_2 + \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$, а окислителем является кислород.

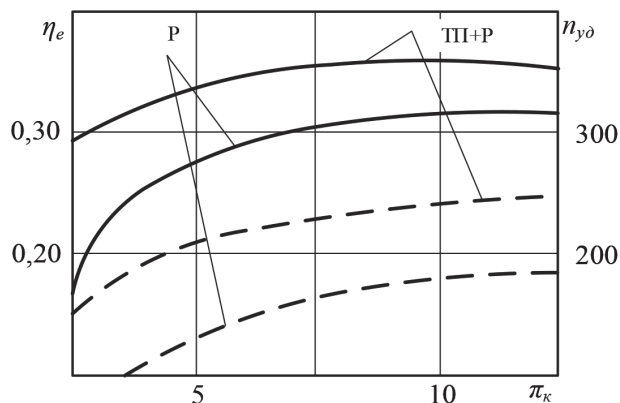


Рис. 3. Зависимости КПД (η_e) и удельной мощности $n_{уд}$, кВт/(кг/с) от степени повышения давления π_k для ЗМГТУ

Условные обозначения:

η_e — сплошные линии; $n_{уд}$ — пунктирные линии

Анализ результатов, приведенных на рис. 3, показал, что при оптимальных степенях повышения давления π_k одноконтурные ЗМГТУ с ТКУ и Р имеют относительно более высокий КПД, чем ЗМГТУ с Р на 15–20 %, а удельная мощность в среднем возрастает в 1,5 раза. Из приведенных на рисунке зависимостей выбираются оптимальные параметры ЗМГТУ на номинальном режиме, которые принимаются в качестве исходных данных при анализе работы ЗМГТУ на переменных режимах (частичных нагрузках).

Результаты (Results)

Для судового энергетического комплекса характерна как винтовая, так и генераторная нагрузка. Энергетическая установка судового энергетического комплекса должна быть всережимной, поэтому необходимо определить и обеспечить высокую энергетическую эффективность ее не только на номинальном, но и на переменных режимах.

В микрогазотурбинной установке двигатель традиционно выполнен одновальным с блокированной с газогенератором силовой турбиной. При выработке переменного тока такая схема является предпочтительной. В этом случае двигатель работает на постоянных оборотах и обладает достаточной приемистостью, воспринимая переменную генераторную нагрузку.

В ЗМГТУ используют высокочастотные электрогенераторы, поэтому в случае применения специальных схем электродвижения объекта двигатель будет воспринимать винтовую нагрузку за счет изменения числа оборотов двигателя и, соответственно, необходимо приблизить ее регулирование к количественному типу.

Математические модели и программное обеспечение, ранее используемые при анализе характеристик МГТУ [10]–[13] при различных типах нагружения установок, были применены с внесением параметров нового рабочего тела — смеси продуктов сгорания углеводородного топлива и двуокиси углерода.

На рис. 4 и 5 даны характеристики одноконтурных ЗМГТУ с ТКУ и регенерацией теплоты (схема 1Б/Р + ТП) и ЗМГТУ с регенерацией теплоты (схема 1Б/Р) при генераторном типе нагружения. При винтовом типе нагружения в обозначение схемы добавляется символ *V*.

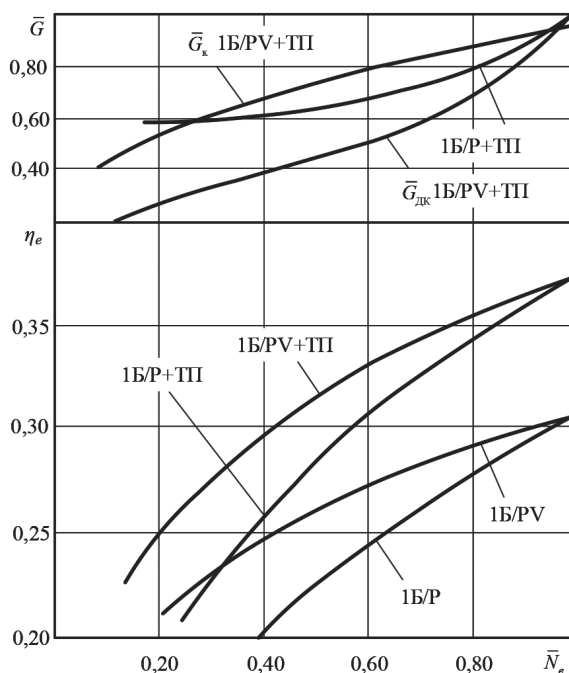


Рис. 4. Характеристики термодинамических циклов одноконтурных ЗМГТУ на частичных нагрузках при $T_3 = 1373$ К, $\pi_k = 5$, $\pi_{dk} = 2,25$ и $\sigma = 0,8$

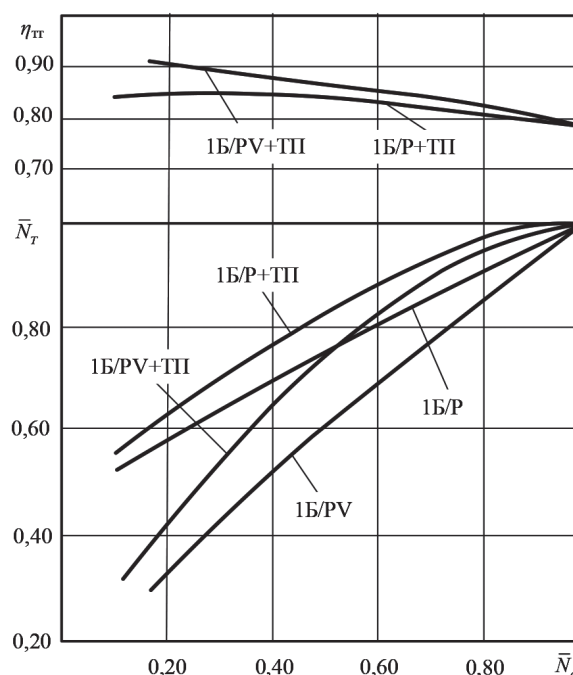


Рис. 5. Теплотехнические характеристики одноконтурных ЗМГТУ на частичных нагрузках при $T_3 = 1373$ К, $\pi_k = 5$, $\pi_{dk} = 2,25$ и $\sigma = 0,8$

На рис. 4 и 5 использованы следующие условные обозначения: $\bar{N}_e$ — относительная эффективная мощность; $\bar{G}_k$ — относительный расход рабочего тела; $\bar{N}_t$ — относительная тепловая мощность; η — КПД; T — температура, К; π — степень повышения давления.

Обсуждение (Discussion)

Во всем диапазоне значений относительной эффективной мощности $\bar{N}_e$, т. е. при частичных нагрузках, эффективный КПД (η_e) в схеме одноконтурной ЗМГТУ с ТКУ и Р выше, чем в схеме ЗМГТУ с Р для всех типов нагружения.

При винтовом виде нагружения КПД (η_e) для всех схем двигателей (см. рис. 1 и 2) выше, чем при генераторном типе нагружения, поскольку закон регулирования двигателя приближается к количественному (относительный расход рабочего тела $\bar{G}_k$ при меньшей мощности установки уменьшается).

В схемах на рис. 1 и 2 охладитель газа после регенератора теплоты можно использовать в качестве котла-утилизатора для обеспечения теплом объектов на обитаемых аппаратах. Таким образом, ЗМГТУ с ТКУ и Р обладает высокой энергетической эффективностью при использовании ее в когенерационном режиме. Так, теплотехнический (общий) КПД $\eta_{tt} = 0,8$ и стабилен во всем диапазоне режимов нагружения, а при мощности $\bar{N}_e = 0,5-0,6$ относительная тепловая мощность когенерационной установки составит $\bar{N}_t = 0,8-0,9$.

Выводы (Summary)

На основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. ЗМГТУ в одноконтурном исполнении способны работать на углеводородном топливе с окислителем кислородом, причем ЗМГТУ с ТКУ и Р на всех режимах нагружения имеют эффективный КПД выше, чем ЗМГТУ с Р (регенерацией теплоты).

2. Одноконтурные ЗМГТУ при винтовом нагружении на частичных нагрузках экономичнее, чем на переменных генераторных нагрузках.

3. ЗМГТУ могут производить механическую и тепловую энергию, обеспечивая высокую энергоэффективность установки в условиях подводного плавания.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-08-00469.

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. DOI: 10.21821/2309-5180-2015-7-5-140-152.
2. Замуков В. В. Выбор воздухонезависимой энергоустановки неатомных подводных лодок / В. В. Замуков, Д. В. Сидоренков // Судостроение. — 2012. — № 4. — С. 29–33.
3. Матвеев В. Т. Характеристики рабочих процессов воздухонезависимых одноконтурных микрогазотурбинных установок для подводной техники / В. Т. Матвеев, В. А. Очеретяный, А. В. Дологлонян // 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.
4. Пат. 2542166 Российская Федерация, МПК F02C1 1/04. Энергетическая установка подводного аппарата / В. Ю. Дорофеев, В. В. Замуков, Д. В. Сидоренков; заявит. и патентообл. ОАО «Санкт-Петербургское морское бюро машиностроения «Малахит»». — № 2013153997/06; заяв. 04.12.2013; опубл. 20.02.2015, Бюл. № 5.
5. Пат. 180005 Российская Федерация, МПК F02C 6/12. Газотурбинная воздухонезависимая установка подводного аппарата / В. Т. Матвеев, А. В. Дологлонян, В. А. Очеретяный; заявит. и патентообл. ФГБВОУ «Черноморское высшее военно-морское ордена Красной Звезды училище имени П. С. Нахимова». — № 2011111332; заявл. 04.04.2017; опубл. 30.02.2018, Бюл. № 16.
6. Bianchi M. Inverted Brayton cycle employment for low-temperature cogenerative applications / M. Bianchi, G. N. di Montenegro, A. Peretto // J. Eng. Gas Turbines Power. — 2002. — Vol. 124. — Is. 3. — Pp. 561–565. DOI: 10.1115/1.1447237.
7. Bianchi M. A feasibility study of inverted brayton cycle for gas turbine repowering / M. Bianchi, G. N. di Montenegro, A. Peretto, P. R. Spina // J. Eng. Gas Turbines Power. — 2005. — Vol. 127. — Is. 3. — Pp. 599–605. DOI: 10.1115/1.1765121.
8. Kennedy I. Experimental investigation of an inverted Brayton cycle for exhaust gas energy recovery / I. Kennedy, Z. Chen, B. Ceen, S. Jones, C. D. Copeland // Journal of Engineering for Gas Turbines and Power. — 2019. — Vol. 141. — Is. 3. — Pp. 032301. DOI: 10.1115/1.4041109.
9. Арбеков А. Н. Теория и проектирование газотурбинных и комбинированных установок / А. Н. Арбеков [и др.]. — М.: Изд. МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017. — 678 с.
10. Матвеев В. Т. Энергоэффективность воздухонезависимых микрогазотурбинных установок сложных циклов для подводной техники / В. Т. Матвеев, В. А. Очеретяный, А. В. Дологлонян // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2019. — Т. 11. — № 3. — С. 565–572. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-3-565-572.
11. Matviienko V. T. Closed-Cycle Micro Gas-Turbine System with Overexpansion Turbines and Heat Regeneration for Underwater Application / V. T. Matviienko, A. V. Dologlonyan, A. N. Grekov // 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon). — IEEE, 2019. — С. 1–4. DOI: 10.1109/FarEastCon.2019.8933910.
12. Matviienko V. Variable regimes operation of cogenerative gas-turbine engine with overexpansion turbine / V. Matviienko, V. Ocheretianyi // Turbo Expo: Power for Land, Sea, and Air. — 2010. — Vol. 44007. — Pp. 33–37. DOI: 10.1115/GT2010-22029.
13. Матвеев В. Т. Эффективность работы газотурбинного двигателя с регенерацией теплоты на частичных винтовых нагрузках / В. Т. Матвеев, В. А. Очеретяный // Вісник СевНТУ. — 2011. — № 119. — С. 118–121.

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. DOI: 10.21821/2309-5180-2015-7-5-140-152.
2. Zamukov, V. V., and D. V. Sidorenkov. "Selection of air-independent power plant for non-nuclear submarines." *Shipbuilding* 4 (2012): 29–33.
3. Matviienko, Valerii T., Volodymyr A. Ocheretianiy, 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.
4. Dorofeev, V. Yu., V. V. Zamukov, and D. V. Sidorenkov. RU 2 542 166, IPC FO2C1 1/04. Energeticheskaya ustanovka podvodnogo apparata. Russian Federation, assignee. Publ. 20 Feb. 2015.
5. Matveenko, V. T., A. V. Dologlonyan, and V. A. Ocheretyany. RU 180005, IPC F 02 S 6/02. Gazoturbinnaya vozdukhonezavisimaya ustanovka podvodnogo apparata. Russian Federation, assignee. Publ. 30 May 2018.
6. Bianchi, M., G. Negri di Montenegro, and A. Peretto. "Inverted Brayton cycle employment for low-temperature cogenerative applications." *J. Eng. Gas Turbines Power* 124.3 (2002): 561–565. DOI: 10.1115/1.1447237.
7. Bianchi, M., G. N. di Montenegro, A. Peretto, and P. R. Spina. "A feasibility study of inverted brayton cycle for gas turbine repowering." *J. Eng. Gas Turbines Power* 127.3 (2005): 599–605. DOI: 10.1115/1.1765121.
8. Kennedy, Ian, Z. Chen, B. Ceen, S. Jones, and C.D. Copeland. "Experimental investigation of an inverted Brayton cycle for exhaust gas energy recovery." *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power* 141.3 (2019): 032301. DOI: 10.1115/1.4041109.
9. Arbekov, A. N., et al. *Teoriya i proektirovanie gazoturbinnnykh i kombinirovannykh ustanovok* M. Izd. MGTU im. N.E. Bauman, 2017.
10. Matviienko, Valerii T., Vladimir A. Ocheretianiy, and Andrey V. Dologlonyan. "Energy efficiency of air-independent micro-gas-turbine plant of complex cycles for the underwater equipment." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 11.3 (2019): 565–572. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-3-565-572.
11. Matviienko, V. T., A. V. Dologlonyan, and A. N. Grekov. "Closed-Cycle Micro Gas-Turbine System with Overexpansion Turbines and Heat Regeneration for Underwater Application." *2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon)*. IEEE, 2019. 1–4. DOI: 10.1109/FarEast-Con.2019.8933910.
12. Matviienko, V., and V. Ocheretianiy. "Variable regimes operation of cogenerative gas-turbine engine with overexpansion turbine." *Turbo Expo: Power for Land, Sea, and Air*. Vol. 44007. 2010. 33–37. DOI: 10.1115/GT2010-22029.
13. Matviienko, V. T., and V. A. Ocheretyany. "Efficiency of performance of gas turbine engine with heat regeneration on partial loading." *Visnik SevNTU* 119 (2011): 118–121.

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
Очеретяний 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

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
Ocheretianiy, Vladimir A. —
PhD, associate professor
Sevastopol State University
33, Universitetskaia Str.,
Sevastopol, 299053,
Russian Federation
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

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

Статья поступила в редакцию 21 июля 2020 г.

Received: July 21, 2020.