

DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-1-73-81

THE EFFECT OF THE NOZZLE BLADE PITCH ON THE VELOCITY COEFFICIENT OF THE INFLOW TURBINE WITH PARTIAL BLADING OF THE RUNNER

A. A. Kryukov

Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russian Federation

A numerical experiment with three groups of low-consumption inflow turbine with partial blading of the runner is considered in the paper. Geometric models of turbine stages with partial flapping of the runner with different grid spacing of the nozzle diaphragm have been developed. The object of this study is centripetal turbine stages with partial flapping of the impeller. The subject of the study is the efficiency coefficient and the velocity coefficient of the nozzles of the inflow turbine. The research method is numerical simulation of the working fluid flow using elements of computational gas dynamics. The aim of the study is to determine the effect of the nozzle blade pitch on the efficiency of the nozzle diaphragm of low-consumption inflow turbine with partial blading of the runner. The main objectives of the study are creating geometric models of turbine stages with different nozzle pitch, determining the boundary conditions of the experiment, conducting and processing the results of the experiment. The graphs of the dependence of the nozzle velocity coefficient and the efficiency of the low-consumption inflow turbine stage are provided. A comparative analysis of the nozzle velocity coefficient and the efficiency coefficient of three turbine stages with different grid spacing of the nozzle diaphragm is carried out. The velocity fields of the flow part of the turbine stages and the integral values of the parameters necessary for the three-dimensional calculation are obtained. The influence of the nozzle blade pitch on the velocity coefficient of the nozzle diaphragm and the efficiency coefficient of the turbine stage is determined. The nature and dependence of this geometric parameter on the efficiency of the study object is established, conclusions on further improvement of turbine stages with partial blading of the runner are made.

Keywords: nozzle diaphragm, loss coefficient, runner, kinetic energy, numerical method, experiment, calculation grid, gas dynamics, low-consumption turbine, experiment.

For citation:

Kryukov, Aleksey A. "The effect of the nozzle blade pitch on the velocity coefficient of the inflow turbine with partial blading of the runner." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 15.1 (2023): 73–81. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-1-73-81.

УДК 621.515.001.5

ВЛИЯНИЯ ШАГА СОПЛОВОЙ ЛОПАТКИ НА КОЭФФИЦИЕНТ СКОРОСТИ ЦЕНТРОСТРЕМИТЕЛЬНОЙ ТУРБИНЫ С ЧАСТИЧНЫМ ОБЛОПАЧИВАНИЕМ РАБОЧЕГО КОЛЕСА

А. А. Крюков

ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет», г. Владивосток, Российская Федерация

В работе рассмотрен численный эксперимент с тремя группами малорасходных центростремительных турбин с частичным облопачиванием рабочего колеса. Разработаны геометрические модели турбинных ступеней с частичным облопачиванием рабочего колеса при различном шаге решетки соплового аппарата. Объектом данного исследования являются центростремительные турбинные ступени с частичным облопачиванием рабочего колеса. Предметом исследования являются коэффициенты полезного действия и скорости сопел центростремительной турбины. Методом исследования является численное моделирование течения рабочего тела с применением элементов вычислительной газодинамики. Целью исследования является определение влияния шага сопловой лопатки на эффективность соплового аппарата центростремительной турбины с частичным облопачиванием рабочего колеса. Основными задачами исследования являются: создание геометрических моделей турбинных ступеней с различным шагом сопел, определение граничных условий эксперимента, проведение и обработка результатов эксперимента. В исследовании

приведены графики зависимости коэффициента скорости сопел и коэффициента полезного действия ступени центростремительной малорасходной турбины. Выполнен сравнительный анализ коэффициента скорости сопла и коэффициента полезного действия трех турбинных ступеней с различным шагом решетки соплового аппарата. Получены поля скоростей проточной части турбинных ступеней и интегральные значения параметров, необходимых для проведения трехмерного расчета. Определено влияние шага сопловой лопатки на коэффициент скорости соплового аппарата и коэффициент полезного действия турбинной ступени. Установлены природа и зависимость данного геометрического параметра на эффективность объекта исследования, сделаны выводы о необходимости дальнейшего совершенствования турбинных ступеней с частичным облопачиванием рабочего колеса.

Ключевые слова: сопловой аппарат, коэффициент потерь, кинетическая энергия, численный метод, эксперимент, расчетная сетка, газодинамика, малорасходная турбина.

Для цитирования:

Крюков А. А. Влияния шага сопловой лопатки на коэффициент скорости центростремительной турбины с частичным облопачиванием рабочего колеса / А. А. Крюков // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2023. — Т. 15. — № 1. — С. 73–81. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-1-73-81.

Введение (Introduction)

Приоритетной целью развития мирового водного транспорта является повышение безопасности, экологичности и энергоэффективности грузоперевозок. Одной из задач для выполнения данной цели является поиск методов повышения эффективности судовых энергетических установок [1], [2]. Возможность повышения эффективности работы судовых энергетических установок за счет вторичных источников тепла, применения утилизационных котлов (УК) и турбогенераторов (УТГ) положительно отразится на экономических и экологических показателях СЭУ [3].

При освоении ресурсов Мирового океана ведущая роль отводится подводной технике, выполняющей различные задачи по поиску, исследованию и добыче полезных ископаемых, биоресурсов, а также получению фундаментальных знаний в области геологии и живой природы. Обеспечение энергии подобных аппаратов зависит от степени их энергооснащенности. Более компактными и энергонезависимыми являются малорасходные турбины (микротурбины) [4].

Актуальность темы заключается в применении повышения эффективности СЭУ методом совершенствования элементов, утилизирующих отработанные газы. Моделирование турбинной ступени позволяет заменить физический эксперимент численным, что дает возможность существенно упростить определение влияния конструктивных изменений на эффективность турбины.

Целью исследования является определение влияния шага сопловой лопатки на эффективность соплового аппарата центростремительной турбины с частичным облопачиванием рабочего колеса.

Задачи исследования:

- создание геометрических трехмерных моделей турбинных ступеней с различным шагом сопел;
- проведение и анализ численного эксперимента с турбинными ступенями с использованием виртуального стенда;
- сравнение значений коэффициента скорости сопел и КПД турбинных ступеней с различным относительным шагом сопловой лопатки.

Объект исследования — центростремительные турбинные ступени с частичным облопачиванием рабочего колеса.

Предмет исследования — коэффициент полезного действия и коэффициент скорости сопел центростремительной турбины.

Методом исследования является численное моделирование течения рабочего тела с применением элементов вычислительной газодинамики.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Стремление к снижению потерь энергии от парциальности привело к возникновению различных типов турбин, одним из которых являются турбины с частичным облопачиванием рабочего колеса.

Выявление КПД турбинной ступени и коэффициента скорости соплового аппарата при различном значении относительного шага соплового аппарата позволяет судить о возможном совершенствовании турбомашин. Применение программного обеспечения для моделирования течения газа методами вычислительной газодинамики позволяет заменить физические опыты численными, что дает возможность внедрять современные компьютерные технологии в качестве виртуального стенда.

Существует значительное количество научных исследований в сфере малорасходных турбомашин, опубликованных в отечественных [5]–[7] и зарубежных изданиях [8], [9] с применением элементов численного моделирования течения газообразной среды, которые описывают перетекание потока газа в проточной части турбины. Проведение численных экспериментов с использованием виртуального газодинамического стенда состоит из пяти этапов [10], [11]:

- 1-й этап — создание трехмерной модели проточной части малорасходной турбины;
- 2-й этап — создание конечно-элементной сетки;
- 3-й этап — создание расчетной модели с граничными условиями и требованиями;
- 4-й этап — решение системы уравнений в численном решателе;
- 5-й этап — анализ и сравнение основных результатов численного моделирования.

В качестве виртуальной трехмерной модели выбрана турбинная ступень с техническими параметрами, приведенными в табл. 1.

Таблица 1

Основные габаритных параметров ступени центростремительной турбины

Угол наклона сопел соплового аппарата, град.	Высота сопла	D_0	D_1	D_2	Шаг сопел t_{CA}			Высота сопла l_1	Z_{CA}	Z_{PK}
					Ширина горла a_1					
					мм					
16,31	2,53	60	50	27,5	7,55	5,88	4,53	2,53	21	34
					1,86	1,45	1,12		27 35	

Конструктивная схема объекта исследования приведена на рис. 1.

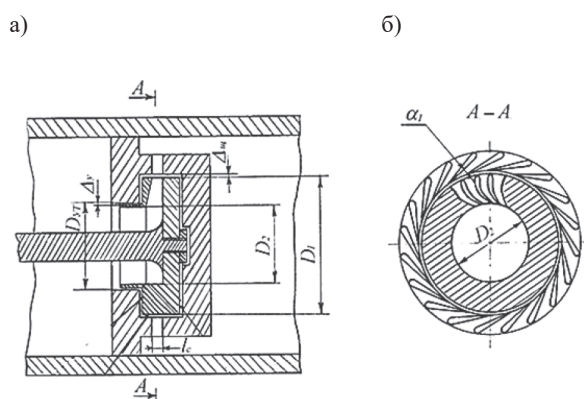


Рис. 1. Конструктивная схема объекта исследования:
а — сечение вдоль оси вращения РК; б — поперечное сечение турбинной ступени

В численном эксперименте заданы следующие граничные условия [12]:

- постановка задачи — нестационарная задача;
- газообразная среда — воздух;
- модель турбулентности — Shear Stress Transport;
- давление торможения потока газа на входе в сопловые каналы — $2,0 \cdot 10^5$ Па;
- температура торможения потока газа на входе в сопловые каналы — 293 К;
- давление потока газа на выходе из рабочих каналов — $1,0 \cdot 10^5$ Па.

Результаты (Results)

В проведенном численном эксперименте на виртуальном стенде степень парциальности осталась неизменной, так как относительный шаг рабочей лопатки был постоянным. Эксперимент проводился с парциальностью, равной 0,059; 0,118; 0,206; 0,412 и 1,00 [11].

Газодинамические процессы, происходящие в исследуемых ступенях, в целом схожи. В крайнем левом сопловом канале (на рис. 2 обозначен буквой «А») наблюдаются зоны сгущения (рециркуляции), которые начинают исчезать при отрывании сопла. Процесс перемещения рабочего тела из этого соплового канала сопровождается явлением *дросселирования*. В крайнем правом сопловом канале застойные зоны не обнаруживаются, однако в нем происходит скачок скорости в области горла сопла. Перемещение газа в рабочих каналах зависит от течения потока в неподвижной решетке. Скачок скорости на выходе из рабочего колеса наблюдается также в крайнем правом рабочем канале (на рис. 2 обозначен буквой «Б»). На входе в рабочие каналы наблюдается падение скорости в области кромки вследствие потерь от угла атаки, а на спинке рабочей лопатки — отрыв пограничного слоя [12].

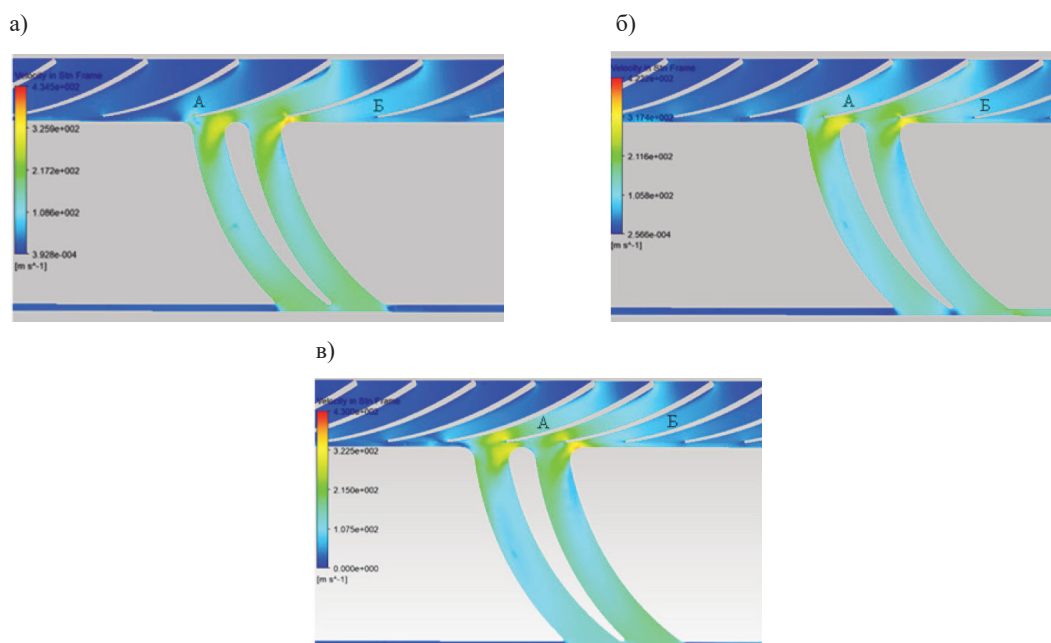


Рис. 2. Поле скоростей в проточной части турбомашин:
а — при $t/b = 0,342$; б — при $t/b = 0,444$; в — $t/b = 0,570$

Для определения значений основных результатов используются следующие формулы:

1. Фактическая степень расширения в ступени:

$$\pi_t = \frac{p_0^*}{p_2}, \quad (1)$$

где p_0^* — давление рабочего тела на входе в сопло.

2. Располагаемый перепад энтальпий на ступень:

$$H_0 = R \frac{k}{k-1} T_0^* \left(1 - \left(\frac{1}{\pi_t} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right), \quad (2)$$

где T_0^* — температура рабочего тела на входе в сопло;

R — газовая постоянная рабочего тела;

k — изэнтропический показатель рабочего тела;

p_2 — давление рабочей тела на выходе из колеса;

π_t — степень расширения в ступени.

3. Перепад энтальпий на сопловой аппарат:

$$H_{SA} = R \frac{k}{k-1} T_0^* \left(1 - \left(\frac{P_1}{P_0^*} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right). \quad (3)$$

4. Коэффициент скорости соплового аппарата:

$$\varphi = \frac{c_1}{\sqrt{2H_{SA}}}, \quad (4)$$

где c_1 — абсолютная скорость на входе в рабочее колесо;

H_{SA} — перепад энтальпий на сопловой аппарат.

5. Внутренний КПД:

$$\eta_i = \frac{M_{RK} \pi n}{30 G_{\Sigma} H_0}, \quad (5)$$

где M_{RK} — крутящий момент рабочего колеса;

G_{Σ} — расход рабочего тела;

n — частота вращения.

В табл. 2 показаны результаты экспериментов, проведенных с турбинными ступенями с различным значением относительного шага t/b сопловых лопаток.

Таблица 2

Результаты проведенного исследования значений коэффициента скорости соплового аппарата и КПД

Величина	Результат эксперимента						Единица измерения
при $t / b = 0,342$ и $\varepsilon = 0,059$							
Частота вращения РК	26 000	36 000	46 000	56 000	66 000	76 000	мин ⁻¹
Давление на выходе из соплового аппарата p_1	0,149	0,150	0,151	0,153	0,154	0,155	МПа
Скорость потока на выходе из СА c_1	178,3	177,14	175,12	172,55	169,02	164,79	м/с
Коэффициент скорости соплового аппарата φ	0,818	0,821	0,825	0,828	0,821	0,811	—
Внутренний КПД	2,384	2,837	3,034	3,128	2,787	1,336	%
при $t / b = 0,444$ и $\varepsilon = 0,059$							
Давление на выходе из соплового аппарата p_1	0,148	0,150	0,151	0,153	0,154	0,155	МПа
Скорость потока на выходе из СА c_1	180,874	177,433	176,727	173,118	170,424	166,527	м/с
Коэффициент скорости соплового аппарата φ	0,821	0,823	0,829	0,831	0,828	0,818	—
Внутренний КПД	2,4124	3,213	3,443	3,814	3,453	1,862	%
при $t / b = 0,570$ $\varepsilon = 0,059$							
Давление на выходе из соплового аппарата p_1	0,149	0,15	0,151	0,152	0,153	0,154	МПа
Скорость потока на выходе из СА c_1	191,01	190,74	188,01	186,55	183,02	179,47	м/с
Коэффициент скорости соплового аппарата φ	0,876	0,885	0,882	0,885	0,878	0,872	—
Внутренний КПД	2,423	3,552	4,238	4,529	4,117	2,341	%

На значение скоростной составляющей, а также потери кинетической энергии, кроме геометрии проточной части, шероховатости каналов неподвижной решетки, оказывают влияние также режимы открытия и закрытия крайних сопловых каналов. На рис. 3 показаны зависимости коэффициента φ и КПД от t/b при различных значениях u_1/C_0 . Увеличение коэффициента φ при увеличении относительного шага объясняется уменьшением профильных потерь.

Обсуждение (Discussion)

Уменьшение относительного шага, а, следовательно, и повышение количества сопловых лопаток в традиционных турбинных ступенях, как правило, приводит к повышению потерь от трения и потерь в кромках. Проанализировав рис. 3, можно сделать вывод, что данный тип турбины имеет те же газодинамические свойства, что и традиционный.

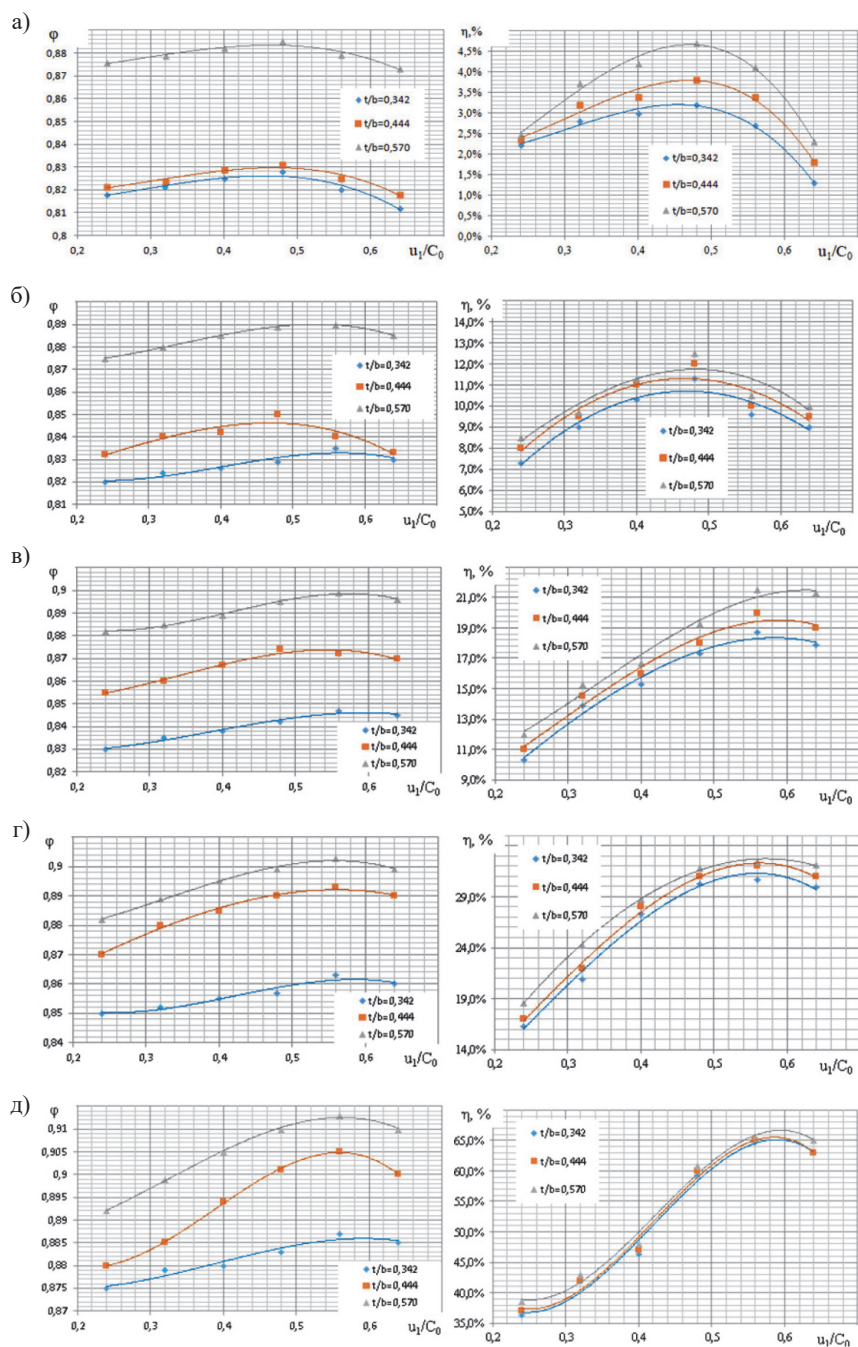


Рис. 3. Графики зависимости φ и η от t/b при различных значениях u_1/C_0 и степени частичности ступени ε : а — при $\varepsilon = 0,059$; б — при $\varepsilon = 0,118$; в — при $\varepsilon = 0,206$; г — при $\varepsilon = 0,412$; д — при $\varepsilon = 1,00$

При уменьшении значения t/b повышается число сопловых каналов, которые находятся в ядре потока. В этой области значение коэффициента скорости сопла максимальное и постоянное в отличие от крайних сопел. График зависимости коэффициента φ при $t/b = 0,342$ ниже, чем при $t/b = 0,444$. Это явление объясняется увеличением кромочных и профильных потерь кинетической энергии.

Выводы (Summary)

В результате проведенного исследования влияния шага сопловой лопатки на эффективность центростремительной турбинной ступени с частичным облопачиванием рабочего колеса можно сделать следующие выводы:

1. Построены трехмерные модели турбинных ступеней с различным относительным шагом сопловой лопатки t/b .
2. В ходе проведенного исследования получены значения коэффициентов скорости соплового аппарата в промежутке $t/b = 0,342-0,570$; понижение значения коэффициента скорости сопел при снижении t/b способствует повышению потерь в кромках и потерь трения.
3. Увеличение относительного шага t/b приводит к снижению профильных потерь, а сравнение эффективности турбинных ступеней показывает, что наивысшее значение КПД имеет ступень с $t/b = 0,570$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соловьев А. В. Повышение эффективности судовых энергетических установок / А. В. Соловьев, М. М. Чиркова, Н. Ф. Попов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. — 2018. — № 4. — С. 101–106. DOI: 10.24143/2073-1574-2018-4-101-106.
2. Ерофеев В. Л. О возможностях использования вторичных энергетических ресурсов в судовых ДВС / В. Л. Ерофеев, В. А. Жуков, О. В. Мельник // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2017. — Т. 9. — № 3. — С. 570–580. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-3-570-580.
3. Абул К. А. Оценка возможностей утилизационных установок главных двигателей крупнотоннажных судов транспортного флота / К. А. Абул // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. — 2009. — № 1. — С. 121–125.
4. 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.
5. Епифанов А. А. Расчет трехмерного течения в ступенях малорасходных турбин / А. А. Епифанов, А. И. Кириллов, В. А. Рассохин // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. — 2012. — № 1 (142). — С. 65–70.
6. Забелин Н. А. Исследование особенностей течения в малорасходных турбинных ступенях конструкции ЛПИ / Н. А. Забелин, Г. Л. Раков, В. А. Рассохин, А. А. Себелев, М. В. Смирнов // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. — 2013. — № 1 (166). — С. 45–53.
7. Нгуен А. К. Характеристики и структура потока турбинной ступени с отрицательным градиентом степени реактивности / А. К. Нгуен, К. Л. Лапшин // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. — 2016. — № 2 (243). — С. 163–173. DOI: 10.5862/JEST.243.17.
8. Rassokhin V. The design of microturbine units with low-consumed turbines constructed by LPI for heat recovery of exhaust gases of internal combustion engines / V. Rassokhin, N. Zabelin, H. Kunte, J. Seume, S. Olennikov, M. Cherkasova, A. Sebelev // Results of joint research activity of scientists from Saint-Petersburg State Polytechnical University and Leibniz University of Hannover. — Polytechnical University Publishing House, 2014. — Pp. 139–155.
9. Rakov G. A low emission axial-flow turbine for the utilization of compressible natural gas energy in the gas transport system of Russia / G. Rakov, V. Rassokhin, N. Zabelin, S. Olennikov, A. Sebelev, A. Sukhanov, S. Schislyaev // International Journal of environmental & science education. — 2016. — Vol. 11. — No. 18. — Pp. 11721–11733.

10. Крюков А. А. Численное моделирование коэффициента скорости соплового аппарата малорасходной турбины / А. А. Крюков // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2021. — Т. 13. — № 6. — С. 849–857. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-6-849-857.

11. Крюков А. А. Сравнение значений коэффициентов скорости в турбинной ступени с частичным облопачиванием рабочего колеса / А. А. Крюков, С. В. Чехранов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2021. — Т. 13. — № 2. — С. 257–265. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-2-257-265.

12. Крюков А. А. Трехмерное численное моделирование малорасходной центростремительной турбины с частичным облопачиванием рабочего колеса / А. А. Крюков, С. В. Чехранов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. — 2021. — № 1. — С. 74–80. DOI: 10.24143/2073-1574-2021-1-74-80.

REFERENCES

1. Soloviev, Alexey Valerievich, Margarita Makarovna Chirkova, and Nikolay Frolovich Popov. “Improving the efficiency of ship power plants.” *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine engineering and technologies* 4 (2018): 101–106. DOI: 10.24143/2073-1574-2018-4-101-106.

2. Erofeev, Valentin L., Vladimir A. Zhukov, and Olesya V. Melnik. “On the possibilities of using secondary energy resources in marine engine.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 9.3 (2017): 570–580. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-3-570-580.

3. Abul, Kalam Azad. “Estimation of possibilities of heat recovery plants of the propulsion engines of large-capacity vessels of transport fleet.” *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine engineering and technologies* 1 (2019): 121–125.

4. 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.

5. Epifanov, A. A., A. I. Kirillov, and V. A. Rassokhin. “Raschet trehmernogo techeniya v stupenjah malorashodnykh turbin.” *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta* 1(142) (2012): 65–70.

6. Zabelin, N. A., G. L. Rakov, V. A. Rassokhin, A. A. Sebelev, and M. V. Smirnov. “Research of flow characteristics in low flow rate LPI turbine stages.” *St. Petersburg State Polytechnical University Journal* 1(166) (2013): 45–53.

7. Nguyen, A. Q., and K. L. Lapshin. “Characteristics and structure of the flow in a turbine stage with a negative gradient of the degree of reactivity.” *St. Petersburg State Polytechnical University Journal* 2(243) (2016) 163–173. DOI: 10.5862/JEST.243.17

8. Rassokhin, V., N. Zabelin, H. Kunte, J. Seume, S. Olennikov, M. Cherkasova, and A. Sebelev. “The design of microturbine units with low-consumed turbines constructed by LPI for heat recovery of exhaust gases of internal combustion engines.” *Results of joint research activity of scientists from Saint-Petersburg State Polytechnical University and Leibniz University of Hannover*. Polytechnical University Publishing House, 2014. 139–155.

9. Rakov, Gennadiy, Viktor Rassokhin, Nikolay Zabelin, Sergey Olennikov, Aleksandr Sebelev, Aleksandr Sukhanov, and Sergey Schislyayev. “A Low Emission Axial-Flow Turbine for the Utilization of Compressible Natural Gas Energy in the Gas Transport System of Russia.” *International Journal of environmental & science education* 11.18 (2016): 11721–11733.

10. Kryukov, Aleksey A. “Numerical simulation of the velocity coefficient of the nozzle diaphragm of a low-consumption turbine.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 13.6 (2021): 849–857. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-6-849-857.

11. Kryukov, Aleksey A., and Sergei V. Chekhranov. “Comparison of the velocity coefficients values in the turbine stage with partial blading of the runner.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 13.2 (2021): 257–265. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-2-257-265.

12. Kriukov, Aleksei Alekseevich, and Sergei Valentinovich Chekhranov. “Three-dimensional numerical simulation of low-consumption inflow turbine with partial blading of runner.” *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine engineering and technologies* 1 (2021): 74–80. DOI: 10.24143/2073-1574-2021-1-74-80.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Крюков Алексей Алексеевич —
старший преподаватель
ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный
технический рыбохозяйственный университет»
690087, Российская Федерация, г. Владивосток,
ул. Луговая, 52б
e-mail: aleksey902@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Kryukov, Aleksey A. —
Senior lecturer
Far Eastern State Technical
Fisheries University
52B Lugovaya Str., Vladivostok, 690087,
Russian Federation
e-mail: aleksey902@mail.ru

*Статья поступила в редакцию 3 ноября 2022 г.
Received: November 3, 2022.*