

Научная статья
УДК 621.57
<https://doi.org/10.24143/2073-1574-2026-1-54-61>
EDN GRWWNH

Современные направления утилизации вторичных энергоресурсов промысловых судов

Андрей Владимирович Пассар¹✉, Сергей Валентинович Чехранов²

¹*Вычислительный центр Дальневосточного отделения Российской академии наук,
Хабаровск, Россия, passar_av@mail.ru✉*

²*Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
Владивосток, Россия*

Аннотация. К энергетическим установкам современных морских судов предъявляются повышенные требования не только с точки зрения их экономической, но и с позиции их экологической эффективности. Удовлетворению таких требований отвечает применение систем утилизации вторичных энергетических ресурсов. Известно, что основным критерием эффективности любых утилизационных систем принято считать сроки их окупаемости, что, в свою очередь, оценивается по стоимости сэкономленного топлива. Проведен анализ расходования топлива для различных судовых нужд применительно к рыбодобывающим и рыбообработывающим судам. Определено, что около четверти всего расхода топлива тратится на работу судовых холодильных установок. С целью повышения экономической эффективности судовых энергетических установок рыбопромысловых судов предлагается использовать системы утилизации вторичных энергетических ресурсов, которые позволяют получать не только механическую и тепловую энергию, но и холод. Появляется возможность заменить часть штатных холодильных машин на утилизационные, что повышает экономическую эффективность утилизационных систем. Предлагается использовать избыточную энергию уходящих газов современных высокофорсированных двигателей в утилизационных турбодетандерных установках, где хладагентом является воздух. Основным элементом таких установок становятся компаундные турбины, которые работают на избыточной энергии уходящих газов и являются приводом воздушных компрессоров турбодетандерных систем. Проанализированы различные конструктивные схемы утилизационных установок с воздушными турбодетандерами. Сделан вывод о перспективности утилизационных турбодетандерных систем с точки зрения повышения экономичности энергетических установок рыбопромысловых судов.

Ключевые слова: вторичные энергоресурсы, утилизационная система, холодильная установка, выработка холода, промысловое судно, рыбопродукция

Для цитирования: Пассар А. В., Чехранов С. В. Современные направления утилизации вторичных энергоресурсов промысловых судов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2026. № 1. С. 54–61. <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2026-1-54-61>. EDN GRWWNH.

Original article

Current directions for fishing vessels secondary energy resources utilization

Andrey V. Passar¹✉, Sergey V. Chekhranov²

¹*Computing Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences,
Khabarovsk, Russia, passar_av@mail.ru✉*

²*The Far Eastern State Technical Fisheries University,
Vladivostok, Russia*

Abstract. The energy installations of modern marine vessels are subject to increased requirements not only from the point of view of their economic, but also from the point of view of their environmental efficiency. The use of recycling systems for secondary energy resources meets such requirements. It is well known that the main criterion for the effectiveness of any recycling systems is considered to be their payback period, which, in turn, is estimated by the cost of fuel saved. The analysis of fuel consumption for various marine needs in relation to fishing and fishing vessels is carried out. It is determined that about a quarter of the total fuel consumption is spent on the operation of marine refrigeration units. In order to increase the economic efficiency of marine power plants of fishing vessels, it is proposed to use recycling systems for secondary energy resources, which allow to receive not only mechanical and thermal energy, but also cold. It becomes possible to replace some of the standard refrigerating machines with recycling ones, which increases the economic efficiency of recycling systems. It is proposed to use the excess energy of the exhaust gases of modern high-powered engines in utilization turbo expander plants, where the refrigerant is air. The main element of such installations are compound turbines, which run on excess exhaust gas energy and drive the air compressors of turbo expander systems. Various design schemes of recycling plants with air turbo expanders are analyzed. The conclusion is made about the prospects of utilization turbo expander systems from the point of view of increasing the efficiency of power plants of fishing vessels.

Keywords: secondary energy resources, recycling system, refrigeration unit, cold generation, fishing vessel, fish products

For citation: Passar A. V., Chekhranov S. V. Current directions for fishing vessels secondary energy resources utilization. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine engineering and technologies.* 2026;1:54-61. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2026-1-54-61>. EDN GRWWNH.

Введение

Турбодетандерные технологии широко применяются во многих областях человеческой деятельности и используются как в стационарных установках получения холода, так и в транспортных. В холодильной технике давно известно применение воздушных холодильных машин в системах кондиционирования воздуха, в установках охлаждения быстропортящейся сельскохозяйственной продукции, в установках замораживания рыбопродукции. Турбодетандеры (ТД) также широко применяются в газовой промышленности, а именно в системах перекачки природного газа, и в целом можно отметить, что мощность турбодетандерных агрегатов, в зависимости от областей применения, находится в пределах от нескольких ватт до нескольких мегаватт. Более детально конструкции и технические характеристики различных ТД представлены в [1]. В настоящей работе нас интересуют возможности применения турбодетандерных технологий в судовых утилизационных установках.

Объектом исследования настоящей статьи являются энергетические установки рыбопромысловых судов, проводится анализ использования их энергетических ресурсов.

Цель исследования – определение возможностей повышения экономической и энергетической эффективности утилизационных установок при использовании тригенерационных технологий с помощью воздушных ТД.

Материалы исследования

Экономическая эффективность и целесообразность установки любой утилизационной системы принято оценивать путем сравнения стоимости сэкономленного с ее помощью топлива и стоимости са-

мой утилизационной системы, включая ее обслуживание и эксплуатацию. Хотя в настоящее время включена еще одна составляющая эффективности – экологическая безопасность, которая в некоторых случаях даже важнее экономической эффективности.

Тем не менее, экономическая эффективность утилизационных систем является приоритетным критерием, что особенно важно в условиях постоянно растущих цен на топливо. Поэтому, прежде чем рассматривать схемы утилизации вторичных энергоресурсов, целесообразно оценить, на какие конкретно нужды расходуется топливо на рыбопромысловых судах. Анализ этих проблем посвящено немало работ, к частности [2, 3]. Если обратить внимание на источники трат топлива во время промысла у рыбодобывающих и рыбообрабатывающих судов, то можно заметить, что статьи расхода топлива у них заметно отличаются: у рыбодобывающих судов более четверти расхода всего топлива идет на обеспечение работы холодильных установок (рис. 1, а), поскольку необходима непрерывная заморозка рыбопродукции и поддержание ее сохранности в трюмах.

Еще большие расходы топлива требуются на котельную установку, потому что пар используется на целый ряд производственных нужд. Если такие же расходы сравнить с рыбообрабатывающим судном на промысле, можно отметить, что на холодильную установку топлива тратится гораздо меньше, зато на производство пара расходуется практически столько же топлива, сколько и на главный двигатель (рис. 1, б). На рыбообрабатывающем судне готовятся консервы, рыбная мука и проводятся дефростационные мероприятия, что требует большого количества пара.

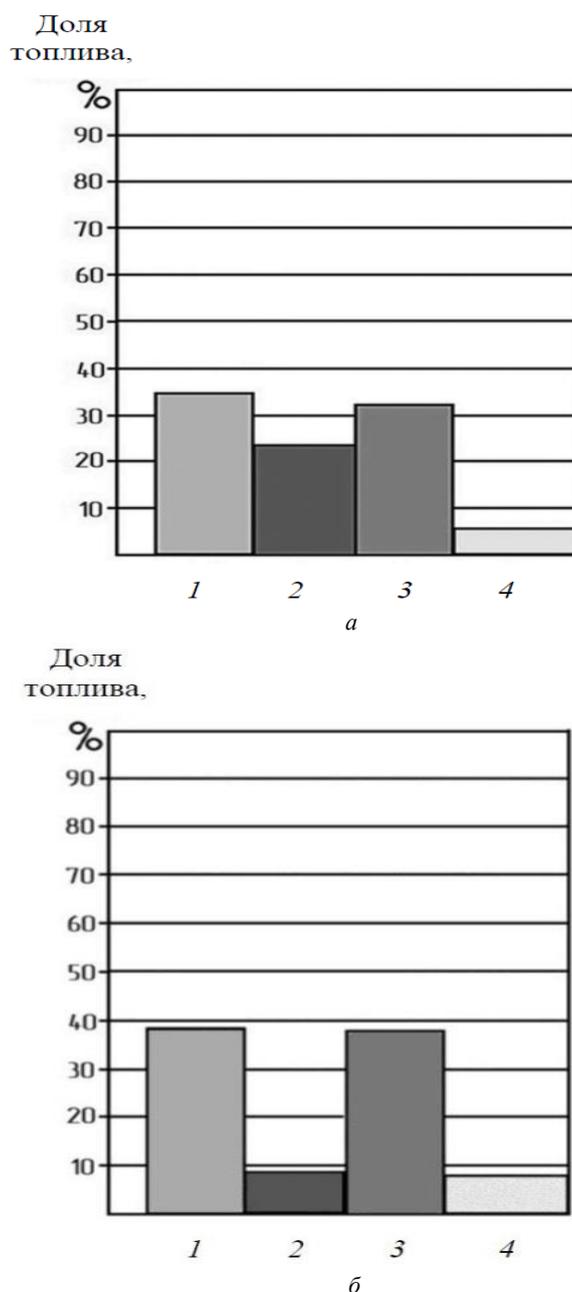


Рис. 1. Доли расхода топлива на промысле: а – у рыбодобывающих судов; б – у рыбообработывающих судов: 1 – главный двигатель; 2 – холодильная установка; 3 – котельная установка; 4 – прочие потребители

Fig. 1. Fuel consumption rates: а, б – for fishing vessels: 1 – main engine; 2 – refrigeration system; 3 – boiler system; 4 – other consumer

Следует отметить, что все судовые холодильные установки работают от электропривода, и поэтому для обеспечения их работы в полном объеме используется судовая электростанция. Кроме вспомогательной котельной установки, на судне имеется утилькотел, работа которого полностью зависит от нагрузки главного и вспомогательных двигателей.

Также следует отметить, что энергетические установки современных судов практически любого

типа, как уже построенные, так и проектируемые, содержат в составе главные двигатели с валогенераторами. Такое решение позволяет экономить топливо, поскольку удельный расход топлива главных двигателей существенно меньше, чем у вспомогательных, входящих в состав судовой электростанции, что очень важно для рыбопромысловых и рыбообработывающих судов, поскольку на промысле эти суда тратят много эне-

гии на работу судовых холодильных установок. С помощью валогенераторов можно уменьшить нагрузку на вспомогательные дизель-генераторы либо вообще от них отказаться.

Следующий важный момент заключается в том, что современные судовые двигатели преимущественно высокофорсированные. Следствием высокой форсировки является избыточная энергия уходящих газов главного двигателя. В сочетании с современными высокоэффективными наддувочными турбокомпрессорами избыточная энергия выпускных газов может достигать 10–15 % от общей энергии выпускных газов, а это значит, что есть прямой смысл применить газовые компаундные турбины.

Это целесообразно еще и с той точки зрения, что двигатели с валогенераторами практически всегда работают с нагрузкой, превышающей 50 %, что гарантирует надежную работу турбокомпаундных систем. Кроме того, у современных двигателей преимущественная доля вторичных энергоресурсов приходится именно на выпускные газы, поэтому применение турбокомпаундных систем целесообразно как для повышения энергоэффективности судовой энергетической установки, так и для уменьшения тепловых выбросов в окружающую среду. Классическая схема использования турбокомпаундной системы приведена на рис. 2.

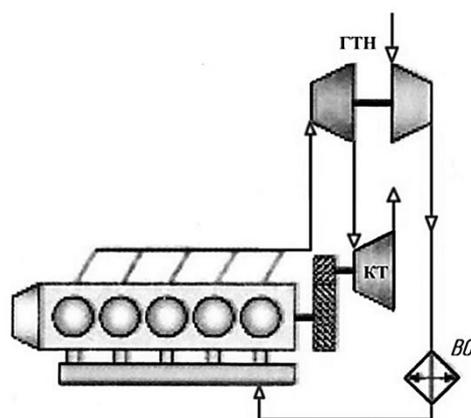


Рис. 2. Схема использования газовой компаундной турбины для передачи мощности на коленвал дизеля:
 ГТН – газотурбонагнетатель; КТ – компаундная турбина; ВО – воздухоохладитель

Fig. 2. Diagram of using a gas compound turbine to transfer power to the diesel engine crankshaft:
 GTCH – gas turbocharger; CT – compound turbine; AC – air cooler

Мощность компаундных турбин составляет 3,5–4,5 % от мощности двигателя и определяется количеством выпускных газов этого двигателя, но большое влияние оказывают и параметры выпускных газов. В частности, у четырехтактных двига-

телей температура газов заметно выше, чем у двухтактных, и относительная мощность компаундных турбин тоже будет выше. Усредненная зависимость мощности компаундных турбин от мощности судовых дизелей показана на рис. 3.

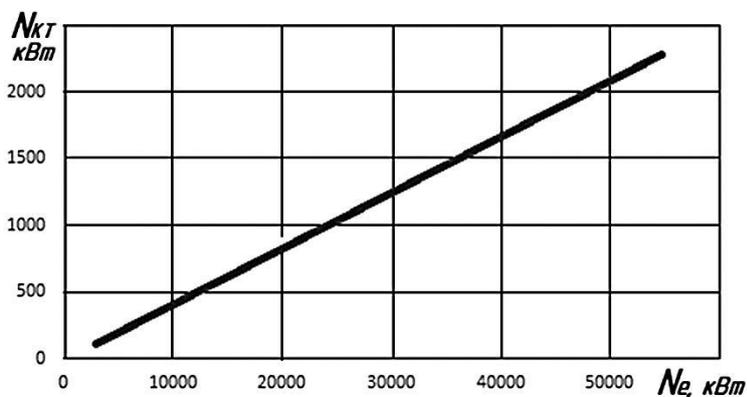


Рис. 3. Расчетная зависимость мощности компаундной турбины от мощности главного двигателя

Fig. 3. Estimated dependence of the compound turbine power on the main engine power

Пассар А. В., Чехранов С. В. Современные направления утилизации вторичных энергоресурсов промысловых судов

Для рыбопромысловых судов производство холода является одной из важнейших функций судовой энергетической установки, поэтому и разработка новых схем утилизации вторичных энергоресурсов для промысловых судов должна быть направлена на получение холода с заменой части штатных холодильных машин [4]. И здесь большую помощь могут оказать турбокомпаундные

системы, включенные в тригенерационную систему утилизации вторичных энергоресурсов [5, 6]. Одна из такого рода схем приведена на рис. 4, где компаундная турбина служит приводом первой ступени центробежного компрессора К1, сжатый воздух от которой через воздухоохладитель поступает во вторую ступень центробежного компрессора К2, находящегося на одном валу с воздушным ТД.

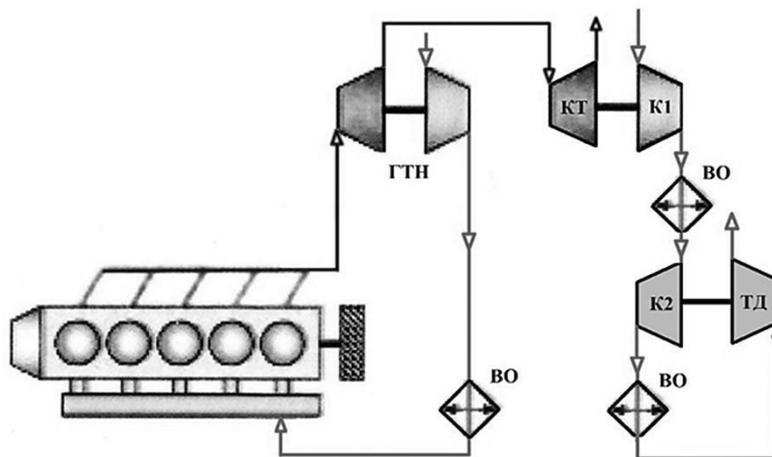


Рис. 4. Схема использования турбокомпаундной системы в турбодетандерной системе утилизации вторичных энергоресурсов

Fig. 4. Scheme of using a turbocompound system in a turbo-expander system for recycling secondary energy resources

Конструктивно турбодетандерный и турбокомпаундный агрегаты такие же, как и конструкция газотурбонагнетателя, что не создает трудностей при их производстве и эксплуатации. При этом температура воздуха за ТД может быть в пределах от -30 до -40 °С, что соответствует требованиям температурного режима в трюмах с рыбопродукцией [7].

Другим примером может быть турбодетандерная схема утилизации (рис. 5), где газовая компаундная турбина приводит винтовой воздушный

компрессор (ВК). Винтовой компрессор имеет высокий КПД и способен создавать в одной ступени высокое давление воздуха. В этом случае ТД может выполнять роль компаундной турбины, если его соединить через редуктор с коленвалом двигателя. Последнее необходимо не только для того, чтобы ТД передавал свою мощность дизелю, но и для обеспечения расширения воздуха в ТД путем совершения механической работы.

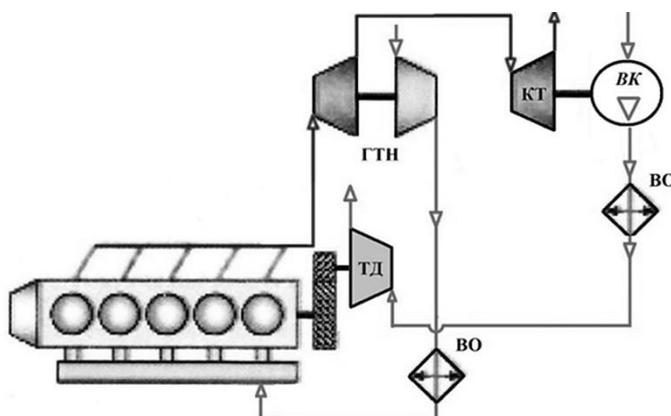


Рис. 5. Схема утилизации с винтовым турбокомпрессором и турбодетандером в качестве компаундной турбины

Fig. 5. Recycling scheme with a screw turbocharger and a turboexpander as a compound turbine

В показанных выше схемах уходящие газы двигателя внутреннего сгорания в полном объеме направляются в наддувочный турбокомпрессор, где частично расширяются в турбине, обеспечивая двигателю требуемый расход воздуха. Но поскольку энергия газов избыточна, то оставшийся перепад давлений срабатывается в компаундной турбине, стоящей последовательно за турбиной газотурбонагнетателя. В таких последовательных схемах через наддувочную и компаундную турбины проходит одинаковое количество газов, но с разным давлением.

Однако в наддувочный турбокомпрессор можно

направлять не все уходящие газы, а часть газов с избыточной энергией перепускать в обход газотурбонагнетателя, по параллельной схеме на компаундную турбину. В этом случае газы поступают в наддувочную и компаундную турбины с одинаковым давлением и температурой, но с разным расходом (рис. 6). Перепуск части газов можно осуществлять в утиль-котел, повышая его паропроизводительность. Полученный пар можно направлять в паровую турбину, которая играет роль компаундной турбины для привода первой ступени компрессора турбодетандерной системы (рис. 7).

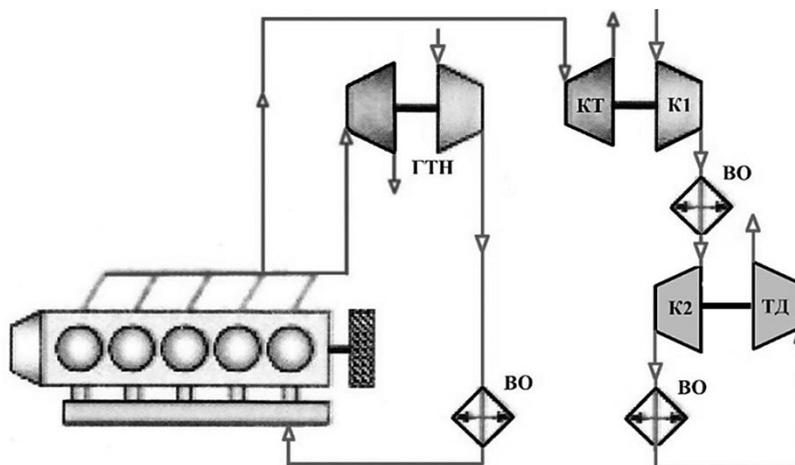


Рис. 6. Схема использования параллельной схемы турбокомпаундной системы в турбодетандерной системе утилизации вторичных энергоресурсов

Fig. 6. Diagram of using a parallel turbocompound system circuit in a turbo-expander system for recycling secondary energy resources

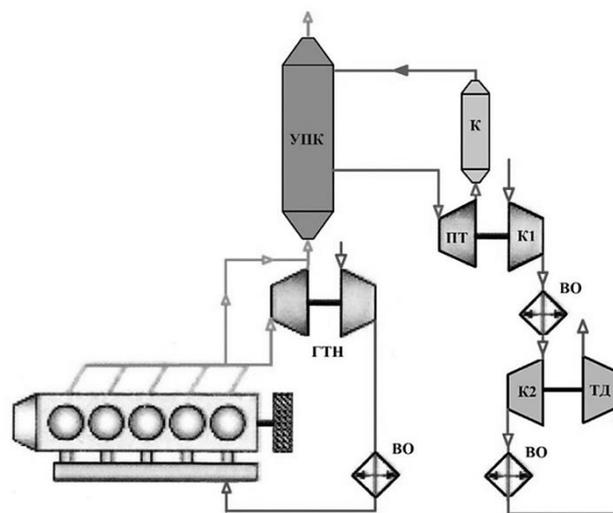


Рис. 7. Схема использования паровой турбины для привода первой ступени компрессора в турбодетандерной системе утилизации вторичных энергоресурсов

Fig. 7. Diagram of using a steam turbine to drive the first stage of a compressor in a turbo-expander system for recycling secondary energy resources

Заключение

Представленный анализ возможных схем утилизации вторичных энергоресурсов может стать перспективным направлением для повышения энергоэффективности судов рыбопромыслового флота. Разнообразие этих схем расширяет и возможности анализа эффективности применительно к конкретному судну. Важно отметить, что турбодетандерные

технологии, где хладоносителем является воздух, безопасны как с экологической точки зрения, так и с точки зрения эксплуатации, поскольку для получения холода не используются озоноразрушающие вещества, а агрегаты утилизационной схемы можно безопасно разместить в любом удобном месте машинно-котельного отделения или вне его.

Список источников

1. Технологические установки с воздушными турбохолодильными машинами: каталог. М.: СК ТБА НПО «НИИХИММАШ», 1991. 32 с.
2. Сирота А. А., Радченко Н. И., Коновалов Д. В. Основные направления тригенерационных технологий в судовой энергетике // Наукові праці. Техногенна безпека. 2007. Т. 73. Вип. 60. С. 100–105.
3. Лашко В. А., Седельников Г. Д., Попов А. Ю. Оценка влияния цены топлива на результаты оптимизации энергосберегающих систем судового дизеля // Вестн. Тихоокеан. гос. ун-та. 2011. № 2 (21). С. 81–88.
4. Симашов Р. Р., Чехранов С. В., Ханькович И. Н. Турбодетандерные технологии в судовых системах утилизации // Инновационное развитие рыбной отрасли в контексте обеспечения продовольственной безопасно-

- сти Российской Федерации: материалы VII Нац. науч.-техн. конф. (Владивосток, 22 декабря 2023 г.). Владивосток: Изд-во Дальрыбвтуза, 2023. С. 60–65.
5. Жуков В. А., Курин М. С. Использование вторичных энергетических ресурсов в турбокомпаундном двигателе // Альтернатив. киловатт. 2010. № 4. С. 5–10.
6. Сирота А. А., Радченко А. Н., Коновалов Д. В., Радченко Н. И. Тригенерационные системы комплексного использования сбросной теплоты судовых дизелей // Вестн. двигателестроения. 2008. № 2. С. 68–72.
7. Чехранов С. В., Симашов Р. Р. Перспективы утилизации теплоты уходящих газов на судах рыбопромыслового флота // Мор. интеллектуал. технологии. 2023. № 4-1. С. 100–109.

References

1. *Tekhnologicheskie ustanovki s vozdushnymi turboholodil'nymi mashinami: katalog* [Technological installations with air turbo-cooling machines: catalog]. Moscow, SK TBA NPO «NIIXHIMMASH», 1991. 32 p.
2. Sirota A. A., Radchenko N. I., Konovalov D. V. Osnovnye napravleniya trigeneracionnyh tekhnologij v sudovoj energetike [The main directions of trigeneration technologies in marine power engineering]. *Naukovi praci. Tekhnogenna bezpeka*, 2007, vol. 73, iss. 60, pp. 100-105.
3. Lashko V. A., Sedel'nikov G. D., Popov A. Yu. Ocenka vliyaniya ceny topliva na rezul'taty optimizacii energosberegayushchih sistem sudovogo dizelya [Assessment of the impact of fuel prices on the results of optimization of energy-saving marine diesel systems]. *Vestnik Tihookeanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2011, no. 2 (21), pp. 81-88.
4. Simashov R. R., Chekhranov S. V., Han'kovich I. N. Turbodetandernye tekhnologii v sudovyh sistemah utilizacii. Innovacionnoe razvitie rybnoy otrasli v kontekste obespecheniya prodovol'stvennoj bezopasnosti Rossijskoj Federacii [Turbo expander technologies in marine recycling systems.

- Innovative development of the fishing industry in the context of ensuring food security of the Russian Federation]. *Materialy VII Nacional'noj nauchno-tekhnicheskoy konferencii (Vladivostok, 22 dekabrya 2023 g.)*. Vladivostok, Izd-vo Dal'rybvтуza, 2023. Pp. 60-65.
5. Zhukov V. A., Kurin M. S. Ispol'zovanie vtorichnyh energeticheskikh resursov v turbokompaundnom dvigatele [Use of secondary energy resources in a turbocompound engine]. *Alternativnyj kilovatt*, 2010, no. 4, pp. 5-10.
6. Sirota A. A., Radchenko A. N., Konovalov D. V., Radchenko N. I. Trigeneracionnye sistemy kompleksnogo ispol'zovaniya sbrosnoj teploty sudovyh dizel'ej [Trigeneration systems for the integrated use of waste heat from marine diesel engines]. *Vestnik dvigatelestroeniya*, 2008, no. 2, pp. 68-72.
7. Chekhranov S. V., Simashov R. R. Perspektivy utilizacii teploty uhodyashchih gazov na sudah rybpromyslovogo flota [Prospects for the utilization of exhaust gas heat on vessels of the fishing fleet]. *Morskie intellektual'nye tekhnologii*, 2023, no. 4-1, pp. 100-109.

Статья поступила в редакцию 07.10.2025; одобрена после рецензирования 30.01.2026; принята к публикации 06.02.2026
The article was submitted 07.10.2025; approved after reviewing 30.01.2026; accepted for publication 06.02.2026

Информация об авторах / Information about the authors

Андрей Владимирович Пассар – кандидат технических наук, доцент; старший научный сотрудник лаборатории численных методов математической физики; Вычислительный центр Дальневосточного отделения Российской академии наук; passar_av@mail.ru

Andrey V. Passar – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Senior Researcher of the Laboratory of Numerical Methods in Mathematical Physics; Computing Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences; passar_av@mail.ru

Сергей Валентинович Чехранов – доктор технических наук, профессор; профессор кафедры судовых энергетических установок; Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет; turboroom@yandex.ru

Sergey V. Chekhranov – Doctor of Technical Sciences, Professor; Professor of the Department of Ship Power Plants; The Far Eastern State Technical Fisheries University; turboroom@yandex.ru

