

УДК 621.431.74:621.313.333

**ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНЫХ УСТАНОВОК ЗА СЧЁТ ИЗМЕНЕНИЯ ЧАСТОТЫ ИХ ВРАЩЕНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВЕЛИЧИНЫ НАГРУЗКИ И КОРРЕКЦИИ КОЭФФИЦИЕНТА ПОТРЕБЛЯЕМОЙ МОЩНОСТИ****Коновалова Александра Игоревна,**

старший преподаватель

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

a.belozerova@narfu.ru

**Лимонников Даниил Тимофеевич,**

магистр,

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

limonnikovdaniil@mail.ru

**Аннотация**

В статье выполнен обзор современных исследований, посвящённых повышению энергоэффективности судовых дизель-генераторных установок. Рассматривается влияние режимов загрузки дизельного двигателя и коэффициента мощности потребляемой нагрузки на удельный расход топлива. Показано, что характерные для реальной эксплуатации режимы долевой нагрузки приводят к снижению топливной экономичности классических дизель-генераторных установок с фиксированной частотой вращения. Проанализированы технические решения на базе дизель-генераторных установок переменной частоты вращения, включая схемы с активным выпрямителем напряжения, обеспечивающие снижение расхода топлива и улучшение качества электрической энергии.

**Ключевые слова:** судовая электростанция, дизель-генераторная установка, удельный расход топлива, коэффициент мощности, переменная частота вращения.

**IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF MARINE DIESEL GENERATOR SETS THROUGH LOAD-BASED VARIABLE SPEED OPERATION AND POWER FACTOR CORRECTION****Konovalova Alexandra Igorevna,**

Senior Lecturer

Northern (Arctic) Federal University. M.V. Lomonosov

a.belozerova@narfu.ru

**Limonnikov Daniil Timofeevich,**

master's degree

Northern (Arctic) Federal University. M.V. Lomonosov

limonnikovdaniil@mail.ru

---

## ABSTRACT

---

This article presents a review of recent studies focused on improving the energy efficiency of marine diesel generator sets. The influence of diesel engine load conditions and the load power factor on specific fuel consumption is considered. It is shown that part-load operating modes typical of real ship service lead to reduction in the fuel efficiency of conventional fixed-speed diesel generator sets. Technical solutions based on variable-speed diesel generator sets are analyzed, including systems with active front-end rectifiers, which provide fuel consumption reduction and electric power quality improvement.

---

**Keywords:** marine power plant, diesel generator set, specific fuel consumption, power factor, variable speed operation.

---

Судовые дизель-генераторные установки (ДГУ) являются основными источниками электроэнергии на морских судах и обеспечивают питание всех судовых потребителей как в ходовом, так и в стояночных режимах. Рост стоимости углеводородного топлива и ужесточение экологических требований делают повышение энергоэффективности судовых электростанций одной из ключевых научно-технических задач.

Анализ эксплуатационных данных и научных публикаций показывает, что характерной особенностью работы судовых дизель-генераторных установок является их эксплуатация в условиях переменной и долевого нагрузки. В таких режимах наблюдается рост удельного расхода топлива и ухудшение энергетических и экологических показателей. Существенное влияние на эффективность работы ДГУ при этом оказывают как режим загрузки дизельного двигателя, так и коэффициент мощности потребляемой электрической нагрузки, определяющий уровень потерь в генераторе и электрической части установки.

Традиционный подход к проектированию судовых электростанций предполагает обеспечение загрузки работающих дизель-генераторов на уровне 70–80 % от номинальной мощности. Однако в реальных условиях эксплуатации это требование часто не выполняется вследствие изменчивости режимов движения судна, работы вспомогательных механизмов и необходимости резервирования мощности. Это указывает на наличие значительного резерва повышения энергоэффективности за счёт адаптации режимов работы дизель-генераторных установок к текущей нагрузке.

Целью настоящей обзорной статьи является обобщение и систематизация результатов исследований, посвящённых повышению энергоэффективности судовых дизель-генераторных установок за счёт регулирования частоты вращения дизельного двигателя и коррекции коэффициента мощности потребляемой электрической нагрузки.

В качестве материалов исследования использованы результаты экспериментальных, аналитических и обзорных работ отечественных авторов, представленные в источниках [1–6]. Применён аналитический метод исследования, основанный на сравнительном анализе энергетических показателей судовых электростанций с дизель-генераторными установками постоянной и переменной частоты вращения.

Обобщение опубликованных исследований показывает, что длительная работа судовых дизель-генераторных установок в условиях долевого нагрузки является одной из основных причин снижения их топливной экономичности. Экспериментальные и

аналитические данные, представленные в работах [1, 2], свидетельствуют о том, что значительная часть эксплуатационного времени ДГУ приходится на режимы, удалённые от оптимальных по удельному расходу топлива.

Существенную роль в формировании энергетических показателей ДГУ играет коэффициент мощности потребляемой нагрузки. Его снижение сопровождается увеличением тока генератора, ростом электрических потерь и увеличением требуемой механической мощности дизельного двигателя, что приводит к дополнительному расходу топлива [2]. Данный эффект особенно выражен в режимах малой и средней загрузки, характерных для реальной эксплуатации судовых электростанций.

В обзорных работах, посвящённых развитию судовых энергетических систем, отмечается, что дальнейшее повышение энергоэффективности классических дизель-генераторных установок с фиксированной частотой вращения ограничено их конструктивными и эксплуатационными особенностями [3, 4]. Наиболее значительные потери топливной экономичности проявляются именно в режимах долевой нагрузки, что обуславливает необходимость перехода к более гибким принципам построения судовых электростанций.

Одним из наиболее перспективных направлений повышения энергоэффективности судовых электростанций является применение дизель-генераторных установок переменной частоты вращения. Обобщённые результаты исследований показывают, что регулирование частоты вращения дизельного двигателя в зависимости от текущей электрической нагрузки позволяет приблизить его работу к области минимального удельного расхода топлива и снизить общий расход топлива в условиях переменной загрузки [1, 5].

Дальнейшее развитие данного направления связано с внедрением вентильных и бестрансформаторных схем дизель-генераторных установок на базе активных выпрямителей напряжения. Использование таких технических решений расширяет функциональные возможности систем управления, обеспечивая независимое регулирование активной и реактивной мощности генератора и создавая предпосылки для активной коррекции коэффициента мощности в широком диапазоне режимов работы [5, 6].

Таким образом, результаты рассмотренных исследований свидетельствуют о том, что наибольший эффект повышения энергоэффективности судовых дизель-генераторных установок достигается при комплексном подходе, сочетающем регулирование частоты вращения дизельного двигателя и коррекцию коэффициента мощности потребляемой нагрузки. Реализация данного подхода позволяет снизить удельный расход топлива, уменьшить потери в электрической части установки и улучшить качество электрической энергии.

Для наглядного обобщения результатов рассмотренных исследований и сопоставления основных направлений повышения энергоэффективности судовых дизель-генераторных установок в таблице 1 приведён сравнительный анализ исследовательских подходов и ключевых выводов работ [1–6].

Таблица 1 - Сравнение подходов к повышению энергоэффективности судовых ДГУ

Параметр сравнения	Классические ДГУ	ДГУ переменной частоты	ДГУ с активным выпрямителем
Частота вращения дизеля	Постоянная	Переменная	Переменная

Эффективность работы при доленой нагрузке	Низкая	Повышенная	Повышенная
Потери в электрической части	Повышенные	Сниженные	Минимизированные
Потенциал повышения энергоэффективности	Ограничен	Средний	Высокий

Проведённый обзор научных публикаций [1–6] показывает, что повышение энергоэффективности судовых дизель-генераторных установок не может рассматриваться исключительно как задача оптимизации режимов работы дизельного двигателя или как задача улучшения качества электрической энергии. Решающую роль играет комплексный подход, включающий согласование скоростного режима дизеля с текущей нагрузкой, снижение потерь в электрической части за счёт коррекции коэффициента мощности и применение дизель-генераторных установок переменной частоты вращения с развитой системой силовой электроники и управления.

Результаты обзорных исследований подтверждают, что дальнейшее повышение энергоэффективности судовых электростанций в рамках классических схем с фиксированной частотой вращения ограничено, особенно в режимах доленой нагрузки, характерных для реальной эксплуатации судов. В этой связи применение дизель-генераторных установок переменной частоты вращения с активной коррекцией коэффициента мощности следует рассматривать не как альтернативное, а как необходимое направление развития современных судовых энергетических систем.

#### Список литературы:

1. Григорьев А. В., Колесниченко В. Ю. Повышение эффективности эксплуатации судовых дизельных электростанций // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. – 2014. – № 6 (28). – С. 39–43.
2. Кузнецов С. Е., Кудрявцев Ю. В. Влияние нагрузки и коэффициента мощности на расход топлива судового дизель-генераторного агрегата // Судостроение. – 2011. – № 6. – С. 30–32.
3. Никитин В. С., Половинкин В. Н., Барановский В. В. Современное состояние и перспективы развития отечественных корабельных дизельных энергетических установок // Труды Крыловского государственного научного центра. – 2017. – № 2 (380). – С. 70–91. – DOI: 10.24937/2542-2324-2017-2-380-70-91.
4. Казанов С. А. О проблемах выработки электроэнергии в системах электродвижения кораблей и судов // Труды Крыловского государственного научного центра. – 2021. – Т. 3, № 397. – С. 83–91. – DOI: 10.24937/2542-2324-2021-3-397-83-91.
5. Хватов О. С., Тарпанов И. А. Сравнительный анализ энергетических показателей судовой электростанции на базе классических дизель-генераторных установок и электростанции с дизель-генераторной установкой переменной частоты вращения // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2022. – № 1. – С. 79–84.
6. Хватов О. С., Кобяков Д. С. Моделирование переходных процессов дизель-генераторной установки переменной частоты вращения на базе активного

выпрямителя напряжения // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2019. – № 3. – С. 94–104.

**References:**

1. Grigoryev A. V., Kolesnichenko V. Yu. Improving the efficiency of operation of marine diesel power plants. *Vestnik of Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping*, 2014, no. 6 (28), pp. 39–43. (In Russ.)
2. Kuznetsov S. E., Kudryavtsev Yu. V. Influence of load and power factor on fuel consumption of a marine diesel generator set. *Shipbuilding*, 2011, no. 6, pp. 30–32. (In Russ.)
3. Nikitin V. S., Polovinkin V. N., Baranovsky V. V. Current state and prospects for the development of domestic marine diesel power plants. *Proceedings of the Krylov State Research Centre*, 2017, no. 2 (380), pp. 70–91. DOI: 10.24937/2542-2324-2017-2-380-70-91. (In Russ.)
4. Kazanov S. A. On the problems of electric power generation in electric propulsion systems of ships and vessels. *Proceedings of the Krylov State Research Centre*, 2021, vol. 3, no. 397, pp. 83–91. DOI: 10.24937/2542-2324-2021-3-397-83-91. (In Russ.)
5. Khvatov O. S., Tarpanov I. A. Comparative analysis of energy performance of a ship power plant based on conventional diesel generator sets and a power plant with a variable-speed diesel generator unit. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technology*, 2022, no. 1, pp. 79–84. (In Russ.)
6. Khvatov O. S., Kobayakov D. S. Modeling of transient processes of a variable-speed diesel generator set based on an active voltage rectifier. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technology*, 2019, no. 3, pp. 94–104. (In Russ.)