

УДК 621.314

**Малышев Юрий Сергеевич**<sup>1</sup>, к.т.н., доцент, доцент кафедры электротехники и электрооборудования объектов водного транспорта,  
e-mail: elektrikasp@mail.ru

**Бурмакин Олег Анатольевич**<sup>1</sup>, к.т.н., доцент, доцент кафедры электротехники и электрооборудования объектов водного транспорта,  
e-mail: boa\_71@mail.ru

**Попов Сергей Васильевич**<sup>1</sup>, к.т.н., доцент, доцент кафедры электротехники и электрооборудования объектов водного транспорта,  
e-mail: popovsev3@ya.ru

<sup>1</sup>Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия.

### ВАРИАНТ МОДЕРНИЗАЦИИ САР ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИХ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

*Аннотация.* В статье рассмотрена судовая электростанция, состоящая из нескольких дизель-генераторов. Показаны характеристики, полученные при их испытании под нагрузкой. Приведены основные недостатки системы регулирования скорости дизелей. Предложена замена механических регуляторов на электронные. Описаны схемы разработанной системы и принцип действия. Доказана эффективность электронной системы регулирования на примере ее реализации на дизельных двигателях с воздушным и стартерным пуском.

*Ключевые слова:* судовая электростанция, дизель-генератор, система регулирования частоты вращения, механический регулятор, электронный и цифровой регулятор, характеристики двигателя.

Электростанция судна является одним из главных элементов, отвечающих как за общее функционирование судовых устройств и комфортабельность, так и за безопасность плавания и живучесть судна в аварийных режимах.

Надежность работы судовой электростанции зависит от многих составляющих, например, своевременного обслуживания дизель-генераторных установок, правильных действий вахты при выполнении синхронизации генераторов и др.

На речном флоте до сих пор эксплуатируются суда 60х годов постройки, которые прошли не одну перестройку корпусов, реконструкцию систем, а также модернизацию электрооборудования. На некоторых судах были полностью заменены дизель-генераторные установки, системы для их обслуживания и ГРЩ. В последнее десятилетие на ряде пассажирских судов были установлены современные генераторные агрегаты как импортного, так и отечественного производства. Однако, ДГ, установленные в 80-90хх годах, еще не выработали свой ресурс и могут эксплуатироваться еще несколько лет.

Для определения остаточного ресурса указанной группы дизель-генераторов были проведены нагрузочные и тепловизионные исследования, в результате которых было установлено, что ДГ обеспечивают 80-85% номинальной мощности при нормальном тепловом режиме. Из анализа нагрузочных режимов работы судна следует, что суммарной мощности двух параллельно работающих генераторов для обеспечения питанием судовых потребителей вполне достаточно. Исходя из этого, следует, что в ряде случаев более целесообразным является модернизация систем управления ДГ, чем замена приводного дизеля.

Основная проблема, возникающая при работе ДГ, заключается в значительных диапазонах изменения частоты напряжения при набросах и сбросах нагрузки, продолжительность переходных процессов и неустойчивая параллельная работа, либо невозможность ее осуществления. Исследование работы генераторов выявило основную причину - это устаревшие системы регулирования с механическими регуляторами [1]. На Рисунке 1 показана структурная схема электронной системы регулирования частоты вращения дизеля, а на Рисунке 2 - регуляторные характеристики дизеля, полученные в результате исследования.



Рисунок 1 – Структурная схема системы регулирования частоты вращения дизеля с механическим регулятором:

СД – серводвигатель; ЦР – центробежный регулятор; ГУ – гидроусилитель; ТР – топливная рейка; Д – дизель; СГ – синхронный генератор; Н – нагрузка;  $\pm U$  – напряжение управления серводвигателем;  $x$  – смещение тяги;  $\omega$  – текущая величина угловой скорости вала дизеля;  $z_1$  - перемещение штока регулятора;  $z_2$  – положение муфты регулятора;  $h$  – перемещение рейки ТНВД;  $S$  – полная мощность;  $f$  – частота напряжения.

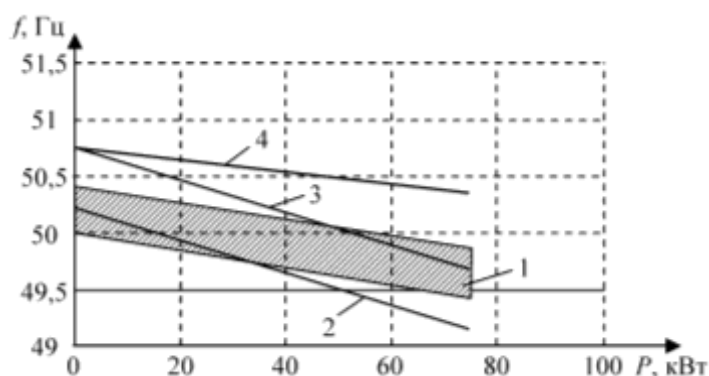


Рисунок 2 – Регуляторные характеристики дизеля:

1 – область регулирования с механическим регулятором; 2, 3, 4 – с электронным регулятором.

Поскольку регулирование положения топливной рейки выполняется механическим путем, износ элементов регулятора значительно увеличивает люфты, что сказывается на точности и быстродействии системы. При одиночной работе ДГ изменение нагрузки вызывает реакцию системы регулирования момента двигателя для обеспечения

необходимой активной мощности. Незначительные отклонения частоты напряжения (см. Рисунок 2 характеристика 1) в установившихся режимах находятся в допустимых пределах и не оказывают существенного влияния на работу потребителей. Однако при параллельной работе генераторов, в силу разностных характеристик регуляторов с учетом люфтов в механизмах, происходит перераспределение мощности между генераторами, и, как следствие, срабатыванию защиты с отключением одного из генераторов. Нередки случаи, когда включение на параллельно работающие генераторы мощной нагрузки приводило к отключению обоих генераторов и обесточиванию судна. Замена механических регуляторов на новые невозможна, поскольку запчасти на такие двигатели уже давно не выпускаются, а ЗИП – исчерпан.

Для успешного освидетельствования судна, согласно требованиям РРР к электростанции, необходимо обеспечить параллельную работу существующих генераторов, что с изношенными механическими регуляторами не представляется возможным [2]. Отсюда следует, что необходима полная замена систем регулирования частоты вращения дизельных двигателей на новые для выполнения выставленных требований.

На Рисунке 3 приведена структурная схема разработанной электронной системы регулирования частоты вращения дизеля [3]. Электронный блок системы выполняет разгон двигателя на средние обороты для выполнения прогрева двигателя. Исполнительным механизмом системы регулирования является актуатор А – поворотный электромагнит, который перемещает топливную рейку ТР дизеля Д. После прогрева система выводит двигатель на номинальные обороты, контролируя их с помощью индукционного датчика ДЧВ, формирующего импульсы с зубчатого колеса ЗК. Цифровой регулятор частоты вращения ЦРЧ построен на базе ПИД-регулятора и имеет настройки оборотов холостого хода, величины статизма и коэффициента передачи.

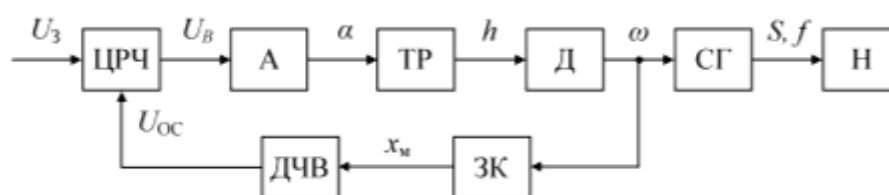


Рисунок 3 – Структурная схема электронной системы регулирования частоты вращения дизеля:

ЦРЧ – цифровой регулятор частоты вращения; А – актуатор; ТР – топливная рейка; Д – дизель; СГ – синхронный генератор; Н – нагрузка; ДЧВ – датчик частоты вращения; ЗК – зубчатое колесо;  $U_3$  – напряжение задания;  $U_B$  – напряжение возбуждения;  $U_{oc}$  – напряжение обратной связи;  $\alpha$  – поворот тяги;  $h$  – перемещение рейки ТНВД;  $\omega$  – скорость вращения вала дизеля;  $S$  – полная мощность;  $f$  – частота напряжения;  $x_m$  – изменение сопротивления магнитного поля.

Электронный регулятор выполняет регулирование скорости вращения дизеля по стабильной характеристике 2, которая может быть смещена относительно холостого хода машины в широком диапазоне (см. Рисунок 2). Настройка регуляторов для параллельной работы генераторов заключается в подборе угла наклона характеристик (характеристика 4) – статизма, который должен быть в пределах 3-5%.

Функциональная схема системы с электронным регулированием представлена на Рисунке 4. Система управления СУ получает питание 24 В постоянного тока от

выпрямителя В подключенного к шинам ГРЩ. В случае первоначального пуска двигателя питание поступает от аккумуляторной батареи АКБ, которая заряжается от выпрямителя при работе в штатном режиме. Система имеет возможность ручной установки скорости с помощью переключателя П, установленного на генераторной панели ГРЩ.

В ходе реализации системы для четырех ДГ были установлены: актуаторы в замен механических регуляторов ТНВД, зубчатые колеса на маховики, датчики частоты вращения, переключатели больше/меньше на лицевых панелях генераторных секций, блоки питания с аккумуляторными батареями и системы управления, собранные в отдельных шкафах.

Испытания электронной системы были выполнены в швартовных и ходовых условиях с включением судовых потребителей. Оценка параметров генератора показала эффективность модернизации с повышенными показателями точности регулирования и сокращением времени реакции на нагрузку. Параллельная работа генераторов в любой комбинации из четырех генераторов стала устойчивой при равномерной загрузке генераторов. Работа четырех генераторов в параллель была испытана одновременным пуском двух компрессоров и балластно-осушительного насоса.

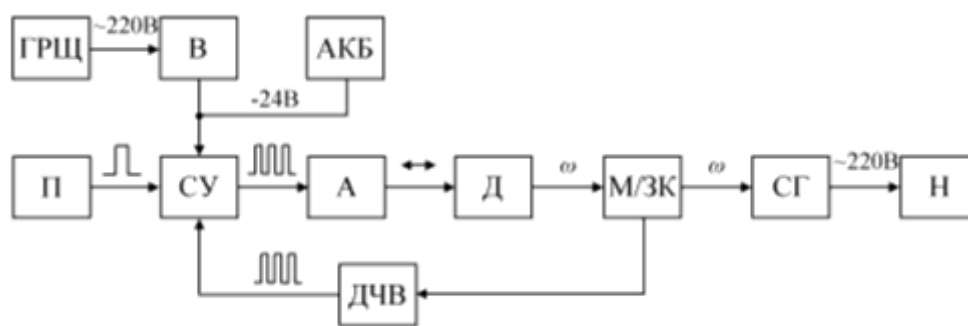


Рисунок 4 Функциональная схема системы

с электронным регулированием частоты вращения дизеля:

ГРЩ – главный распределительный щит; В – выпрямитель; АКБ – аккумуляторная батарея; П – переключатель оборотов больше/меньше; СУ – система управления; М/ЗК – маховик с зубчатым колесом.

Следует отметить, что электронная система регулирования была испытана как на двигателях со стартерным, так и с воздушным пуском. Продолжительная эксплуатация электронной системы подтвердила теоретические выводы, а направление модернизации является верным. Не значительные эксплуатационные расходы, подтвержденная высокая надежность, относительная простота реализации позволяет выполнять предложенную модернизацию систем регулирования скорости практически на любых типах ДГ.

Интегрированная система регулирования скорости с системой синхронизации и системой распределения активной и реактивной мощности способствует решению задачи по автоматизации судовой электростанции.

#### Список литературы:

1. Попов С.В., Бурмакин О.А., Малышев Ю.С. Исследование параллельной работы дизель-генераторов судовой электростанции. Научные проблемы водного транспорта. Выпуск 66 (1).- Н.Новгород: изд. ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2021. – с. 108-122. DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi66.148>



2. Российский Речной Регистр. Правила классификации и постройки судов Часть VI Электрическое оборудование. 2019 г.изд.

3. Коробко Г.И., Попов С.В, Бишлетов А.В. Исследование элементов судовой электростанции на базе макета дизель-генераторной установки: Международный научно-промышленный форум «Великие реки – 2009». Труды конгресса. Том 2. Н.Новгород: Нижегород. гос. архит.-строит. ун. – Н.Новгород: НГАСУ, 2010. – с. 552-555.

## **OPTION OF MODERNIZATION OF ACS DIESEL GENERATORS TO ENSURE THEIR PARALLEL OPERATION**

Sergey.V. Popov, Oleg.A. Burmakin, Yuriy. S. Malyshev

*Annotation. The article considers a marine power plant consisting of several diesel generators. The characteristics obtained during their testing under load are shown. The main disadvantages of the diesel engine speed control system are given. The replacement of mechanical regulators with electronic ones is proposed. The schemes of the developed system and the principle of operation are described. The efficiency of the electronic control system is proved by the example of its implementation on diesel engines with air and starter start.*

*Keywords: marine power plant, diesel generator, speed control system, mechanical controller, electronic and digital controller, engine characteristics.*

